Tijdschrift van het
Nederlands Radiogenootschap

DEEL 27 No. 2-3 1962

Symposium over enige moderne elektrische en magnetische materialen en daaruit vervaardigde onderdelen

Dit tweedaags symposium werd op de woensdagen 29 maart en 12 april 1961 te Delft gehouden.

In de symposiumcommissie hadden zitting:

Prof. dr. C. Zwikker (voorzitter)
Prof. dr. C. E. Mulders (secretaris)
Ir. A. W. M. Paling
Dr. C. F. Veenemans

Het programma was als volgt:

29 maart

13.30 uur :	Opening door de voorzitter van het symposium
13.45 uur :	Dr. C. F. Veenemans - N.V. Philips Eindhoven *De gang van de ontwikkeling van materialen en onderdelen voor elektrotechnische toepassingen.*
14.45 uur :	Dr. O. Drexler - N.V. Philips Eindhoven *Keramische diëlektrische materialen.*
15.45 uur :	Ir. A. J. de Rooy - N.V. Philips Eindhoven *Ferrieten*

12 april

10.30 uur :	Dr. R. de Proost - M.B.L.E. Brussel *Keramische halfgeleiders.*
11.30 uur :	Ir. H. van der Weiden - N.V. Philips Eindhoven *Kwaliteitsbeleid bij de produktie van onderdelen.*

Middagpauze

14.00 uur :	Ir. W. Beukema - N.V. Philips Eindhoven *Miniaturisatie van weerstanden en condensatoren.*
15.00 uur :	Dr. W. Beyerlein - Siemens München *Moderne ontwikkelingen op het gebied der „Bauelemente", in het bijzonder condensatoren.*

Dit nummer bevat de tekst van het merendeel der op deze dagen gehouden voordrachten, voorafgegaan door een samenvatting in de Engelse taal.

De voordracht van Dr. Beyerlein werd in de definitieve uitvoering van het programma geplaatst na de voordracht van Dr. de Proost.

Symposium on some modern electric and magnetic materials and their use in the construction of components

Summary

The intention of the symposium held in Delft on 29 March and 12 April 1961 was to give an impression of some trends in the manufacture of new materials for the construction of modern components for electrical and magnetic applications.

The Chairman of the organising Committee C. Zwikker introduced the lecturers.

The opening lecture was given by *C. F. Veenemans*. He pointed out that the development of the modern ceramic materials as ferrites, dielectrics, piezoelectrics and ceramic semiconductors does not only stimulate the creation of new electronic applications but also the miniaturization of components and consequently the miniaturization of electronic circuits.

Miniaturization is for different reasons of fundamental importance. Several technologies are in development today, which certainly will be used for the production of micro circuits before the end of the coming decade.

The lecture given by *O. Drexler* continued on the subject of ceramics, especially ceramic dielectric materials. On the base of the fabrication processes of earthenware and porcelain in the past thirty years a group of new materials has been developed, which is often designated as synthetic ceramics or oxide ceramics.

As a consequence not only the more ordinary properties as insulation resistance and mechanical strength have been improved, but materials have been found with completely new combinations of properties. In the field of dielectrics the so-called low ε materials show a well defined temperature coefficient of the capacitance which renders them suitable for capacitors in tuned circuits.

The high ε materials made it possible to manufacture small and cheap capacitors for those applications where requirements on stability are less rigorous. The piezoelectric effect which is present with the last mentioned materials, may be used to transform mechanical vibrations into electric tension and vice versa.

A. J. de Rooy paid attention to magnetic ceramics. In this article a survey is given in a chronological sequence of the important ferrite materials which have been found since the first publication of Dr. Snoek in 1947. After this introduction a more detailed description is given of the trends in the development of ferrites to be used in *L-C* filters, telecommunication transformers, computers, logic circuitry and in ultrasonic equipment.

The second day of the symposium started with a lecture by *R. de Proost* on ceramic semiconductors, followed by a review of *Dr. W. Beyerlein* on modern developments in "Bauelemente" especially capacitors.

H. van der Weiden lectured on quality control of components. He stated that the recent technical development of complicated apparatus demands still more stringent requirements of the components, of which it is built up.

A reasonable quality, based on the demand of the customer and the technical possibilities of the manufacturer, wins in the long run from the so-called "super" quality.

A full description of the tolerances on the quality, in particular of the methods of measuring, together with the permissable percentage of rejects, are fundamental for a good cooperation between the supplier and the customer.

For an efficient quality policy a well-considered delegation of responsabilities and powers to employees and staff members is necessary.

With an integrated quality policy the quality consciousness of all those concerned, must be raised to a high level. Experience has proved that the use of Statistical Toys can contribute to a large extent to a good instruction.

Finally *W. Beukema* paid attention to the possibilities of miniaturization of resistors and capacitors.

The dimensions of resistors are dependent on the maximum

power dissipation. Those of capacitors depend on working voltage.

By the introduction of the transistor as an active circuit element the demand for resistors and capacitors with small dimensions has greatly increased; the realisation is in principle made possible by the low voltage and low power requirements of those circuits.

In practice however the decrease of dimensions is limited by mechanical strength of materials and the possibilities of handling the component. A certain system in the design of different components gives the possibility of high packing densities in electronic apparatus.

Finally several systems of integrating a number of components into one mechanically stable body open the door to still smaller electronic systems in the future.

The text of the greatest part of the lectures is present in this issue.

De gang van de ontwikkeling van materialen en onderdelen voor elektronische toepassingen

door C. F. Veenemans *)

1. Inleiding

De stormachtige ontwikkeling van de elektronica na de 2e wereldoorlog is voor een niet onbelangrijk deel mogelijk gemaakt door vindingen in het gebied der vaste stoffen.

Naast de ontwikkeling van halfgeleiders (Ge, Si), die aanleiding is geweest dat de aloude radiobuis grotendeels vervangen is door de transistor en waardoor een belangrijke stap is gezet in de richting van de miniaturisatie van circuits, zien we de opkomst van een groep van overwegend oxydische materialen, die gefabriceerd worden volgens methoden die in principe reeds eeuwen lang worden toegepast in de keramische industrie.

Deze materialen hebben door hun specifieke eigenschappen aanleiding gegeven tot nieuwe toepassingen en hebben bevruchtend gewerkt op de miniaturisatie van onderdelen. Voor de miniaturisatie van elektronische circuits is een interessante ontwikkeling van diverse technologieën gaande, die, evenals de hier genoemde materialen, in deze voordracht kort besproken zullen worden.

2. Keramische materialen

De in de inleiding genoemde keramische materialen („elektronische keramiek") kan men indelen in een 3-tal groepen die hieronder aan een korte beschouwing worden onderworpen. Van elke groep worden de karakteristieke gegevens vermeld die van belang zijn voor de toepassing en wel *a*) de specifieke eigenschappen, *b*) de aard van de verliezen, *c*) instabiliteit, waaronder wordt verstaan een ongewenste variatie van specifieke eigenschappen onder bedrijfsomstandigheden.

Een overzicht van deze karakteristieke gegevens wordt ge-

---

*) N.V. Philips' Gloeilampenfabrieken, Hoofdindustriegroep Icoma.

TABEL I

Materiaal	Specifieke eigenschappen	Verliezen	Instabiliteit
Diëlektrica	ε	diëlektrisch	temperatuur, tijd, spanning
Piëzoëlektrica	K (elektromechan. koppelfactor)	mechanisch	temperatuur, tijd
Isolatoren	ϱ, uitzettings-coëfficiënt, mechanische sterkte	diëlektrisch	—
Ferroxcube	B (H) (inductie als functie van de veldsterkte)	wervelstroom hysteresis	temperatuur, tijd, druk
Ferroxdure	B_r (remanentie) H_c (coërcitiefkracht)	wervelstroom	temperatuur
Halfgeleiders			
NTC, *PTC*	ϱ (T)	—	tijd,
VDR	ϱ (V)	—	belasting
LDR	ϱ (P)	—	

gevens wordt gegeven in tabel 1. Tevens zal de richting aangeduid worden waarin de verdere ontwikkeling van deze materialen waarschijnlijk zal gaan.

2.1. *Diëlektrica, piëzoëlektrica, isolatoren*

De keramische diëlektrica hebben, dank zij hun hoge ε en lage verliezen, condensatoren met hoge capaciteitswaarden per volume-eenheid mogelijk gemaakt.

Zij bestaan voornamelijk uit titanaten, zirkonaten en stannaten; de verliezen zijn van diëlektrische aard terwijl variaties van ε op kunnen treden als functie van temperatuur, tijd en aangelegde spanning.

De keramische piëzoëlektrica zullen het seignettezout grotendeels gaan vervangen in de opnemers en zullen de weg openen tot nieuwe toepassingen van piëzoëlektriciteit, zoals piëzoëlektrische mf-bandfilters in radio-apparaten, piëzoëlektrische transformatoren en wellicht piëzoëlektrische ontstekingsmechanismen in benzinemotoren.

Deze piëzoëlektrica bestaan b.v. uit loodzirkonaat-titanaat; de specifieke eigenschap is de elektromechanische koppelfactor K; de verliezen, voornamelijk van belang voor de filtertoepassing, zijn van mechanische aard, terwijl enige instabiliteit aanwezig is als functie van temperatuur en tijd.

De keramische isolatoren nemen, dankzij lage verliezen benevens vormvastheid bij hoge temperaturen, een belangrijke plaats in bij de constructie van sommige zendbuizen, waarbij de oorspronkelijke glasomhulling is vervangen door keramiek. De belangrijkste materialen in deze groep zijn aluminiumoxyde en forsteriet (magnesium-orthosilicaat).

Instabiliteit komt hier niet voor.

2.2. *Ferrieten*

Eveneens een belangrijke plaats in de moderne elektronica wordt ingenomen door de keramische ferromagnetica, de ferrieten, bestaande uit oxydische verbindingen van *Fe* met 2-waardige metalen als *Mn*, *Zn*, *Ni*, *Cu*, *Ba*. De voornaamste materialen in deze groep zijn ferroxcube en ferroxdure.

Ferroxcube is een zacht-magnetisch materiaal dat naast een relatief hoge magnetische permeabiliteit een hoge elektrische weerstand heeft, waardoor het uitermate geschikt is als kernmateriaal in spoelen voor hoge frequenties, zoals filterspoelen voor telecommunicatie-doeleinden, deflectiespoelen voor TV-apparaten, antennespoelen, enz.

Het aantal toepassingen van ferroxcube is groot; voor elke toepassing zijn specifieke eigenschappen ontwikkeld zoals bijv. ferrieten met een rechthoekige hysteresislus voor geheugens in rekenmachines en ook ferrieten die toegepast worden in protonenversnellers.

De specifieke eigenschappen (permeabiliteit, verzadigingsmagnetisatie, coërcitiefkracht, vorm van de hysteresislus) worden samenvattend gegeven door de *BH*-curve, waarin de inductie *B* gegeven wordt als functie van de veldsterkte *H*.

De verliezen bestaan voornamelijk uit wervelstroom- en hysteresis-verliezen, terwijl instabiliteit kan optreden als functie van temperatuur, tijd en mechanische druk.

Ferroxdure is een permanent magnetisch materiaal dat in vergelijking met de moderne magneetstalen een relatief lage remanentie heeft, doch een zeer hoge coërcitiefkracht. Door deze laatste eigenschap behoudt het haar magnetisme in sterke demagnetiserende velden waardoor afmetingen en constructies van magneetsystemen kunnen worden gerealiseerd die in magneetstaal niet mogelijk zijn (bijv. platte luidsprekersystemen). Ferroxdure heeft zich naast de magneetstalen een belangrijke plaats verworven.

De specifieke eigenschappen van ferroxdure zijn: de remanentie (B_r) en de coërcitiefkracht (H_c).

De verliezen in wisselvelden zijn gering, zij zijn echter in de meeste toepassingen niet van belang. De irreversibele instabiliteit van B_r als functie van de temperatuur is door een geschikte keuze van het werkpunt geheel te elimineren.

2.3. *Keramische halfgeleiders*

Deze materialen worden, al naargelang hun specifieke eigenschappen, toegepast als een weerstand met een grote temperatuur-coëfficiënt, positief (*PTC*) of negatief (*NTC*), met een grote spanningsafhankelijkheid (*VDR*), of met een zekere lichtgevoeligheid (*LDR*).

NTC bestaat bijv. uit een oxydische *Co*, *Ni*, *Li* verbinding, die als begrenzingsweerstand gebruikt wordt tegen ontoelaatbaar hoge aanloopstromen; *PTC* bestaat voornamelijk uit bariumtitanaat met sporen lanthaanoxyde of antimoonoxyde en wordt gebruikt als begrenzings-weerstand tegen te hoge temperaturen, bijv. in motoren; *VDR* is een niet-oxydische verbinding; het bestaat uit *SIC* en wordt toegepast als begrenzingsweerstand tegen hoge spanningen; *LDR* bestaat bijv. uit cadmiumsulfide; als lichtgevoelige weerstand kan dit materiaal gebruikt worden in schakelelementen en in compensatie-elementen. Een voorbeeld hiervan is de toepassing in TV-apparaten als contrast-regelelement.

Bij deze halfgeleiders bestaat enige instabiliteit als functie van tijd en belasting.

2.4. *Verdere ontwikkeling*

T.a.v. de verdere ontwikkeling van de hier besproken materialen bestaan de volgende wensen:

a) verbetering van specifieke eigenschappen respectievelijk ontwikkeling van nieuwe eigenschappen
b) verlaging van de verliezen
c) verhoging van de stabiliteit.

Ter vervulling van deze wensen kunnen de volgende richtingen worden gevolgd:

1) nieuwe samenstellingen (soms geringe toevoegingen aan de bestaande)
2) betere beheersing der grondstoffen (chemische zuiverheid, fysische eigenschappen zoals deeltjesgrootteverdeling en vorm van de deeltjes)
3) ontwikkeling technologie (mengkamerproces, persproces, sinterproces).

Wat de specifieke eigenschappen betreft wordt vooral voor ferroxcube een verbetering verwacht voor de hogere frequenties, speciaal het gebied tussen 2 en 100 *MHz* dat belangrijk is voor *mf*-bandfilters, kortegolfantennes, FM-antennes, afstemeenheden, transformatoren, enz.

Ook in het nog zo jonge halfgeleidergebied zijn nog grote mogelijkheden tot verbetering der specifieke eigenschappen aanwezig. Hetzelfde geldt voor de piëzoëlektrica.

Verliezen en instabiliteit kunnen in vele gevallen met vrucht bestreden worden door een geschikte keuze van grondstoffen en technologie.

Beide onderwerpen staan dan ook in het brandpunt van de belangstelling.

3. **Miniaturisatie**

Zoals in de inleiding reeds werd vermeld vinden de moderne keramische materialen een dankbare toepassing bij de miniaturisatie van onderdelen.

Daarnaast echter worden in de laatste tijd eveneens technologieën ontwikkeld die speciaal gericht zijn op miniaturisatie van circuits; hierbij wordt tevens bijzondere aandacht gewijd aan de bedrijfszekerheid.

Miniaturisatie is een belangrijk onderwerp, in de eerste plaats omdat ze ruimtebesparend werkt; gedacht wordt aan professio-

nele apparatuur zoals die, welke gebruikt wordt in de telecommunicatietechniek, rekenmachines, e.d.; echter ook in de amusement-sector is een duidelijke trend naar ontwikkeling van zeer kleine radio-ontvangers waarneembaar, terwijl tenslotte miniaturisatie van het allergrootste belang is voor de ontwikkeling van militaire apparaten met een minimum aan volume, een minimum aan gewicht en een maximum aan bedrijfszekerheid. Als voorbeeld wordt hier genoemd de elektronische uitrusting van raketten, die bestand moet zijn tegen de enorme versnelling die optreedt tijdens de start. Het is dan ook geen wonder dat van militaire zijde de ontwikkeling van miniaturisatie (en microminiaturisatie) sterk gestimuleerd wordt. Deze ontwikkeling is o.a. ondergebracht bij een aantal elektronische industrieën, voornamelijk in Amerika, op basis van gouvernementscontracten.

T.a.v. de verschillende mogelijkheden om tot miniaturisatie te komen kan men thans 4 concepties onderkennen; elke conceptie vraagt haar eigen technologische ontwikkeling en het is interessant om na te gaan in welke richting deze ontwikkeling zich beweegt.

In tabel II is een samenvatting van de bestaande mogelijkheden gegeven; de miniaturisatiegraad heeft betrekking op de onderdelendichtheid; het aantal soldeerverbindingen is genoemd in verband met de bedrijfszekerheid.

TABEL II

Conceptie	Miniaturisatie-graad (onderd/dm^3)	Aantal soldeer-verbindingen	Voornaamste representant in U.S.A.
Verkleining conventionele onderdelen gecombineerd met dichtste pakking	10.000	groot	Radio Corporation of America
Opgedampte onderdelen	100.000	matig	International Business Machines
Solidstate Circuitry	500.000	matig	Texas Instruments
Moleculaire elektronica	1.000.000	gering	Westinghouse

In het volgende worden genoemde concepties kort besproken en met een enkel voorbeeld toegelicht.

3.1. *Verkleining conventionele onderdelen*

De meest voor de hand liggende weg om tot miniaturisatie van circuits te geraken is het veranderen (en meestal verkleinen) van de afmetingen der conventionele onderdelen zodanig, dat men na de montage een zo dicht mogelijke pakking bereikt.

Verkleining van afmetingen heeft soms consequenties t.a.v. de bedrijfszekerheid zoals het geval is bij een (geminiaturiseerde) keramische condensator, bestaande uit een dun schijfje diëlektricum dat aan beide zijden bedekt is met een metaallaagje als elektroden.

Men heeft hier te maken met een zeer korte kruipweg en met een lage doorslagspanning van het diëlektricum zodat slechts lage spanningen toelaatbaar zijn. In dit verband is deze condensator toe te passen in getransistoriseerde circuits.

Een condensator met een extreem hoge capaciteitswaarde per volume-eenheid verkrijgt men door het schijfje diëlektricum eerst te reduceren zodat het een halfgeleider wordt om het daarna oppervlakkig te oxyderen. Dit oxydelaagje ter dikte van enkele microns is het diëlektricum van deze z.g. sperlaag-condensator, die een capaciteit heeft van ca. 0,5 $\mu F/\text{cm}^2$.

Miniaturisatie van een weerstand, bestaande uit een keramische drager met een weerstandslaagje van *C* of *NiCr* leidt tot hoge temperaturen die oxydatie van het laagje ten gevolge hebben.

Door het laagje te maken van *SnO* is dit bezwaar weggenomen en is miniaturisatie mogelijk.

Een voorbeeld van miniaturisatie van circuits is het z.g. „micromodule" van *RCA* dat opgebouwd is uit keramische schijfjes, die elk een miniatuuronderdeel dragen.

De onderlinge verbindingen worden tot stand gebracht door *Ni*-balkjes die loodrecht op de schijfjes zijn aangebracht, gesoldeerd in uitsparingen in de rand.

Men krijgt hierdoor complete circuits die ondergebracht zijn in een kubus met een ribbe van 8 mm. Deze micromodules zijn in opdracht van het Signal Corps ontwikkeld en worden bijv. toegepast in zend-ontvangertjes die in een helm worden ingebouwd.

Een voordeel van deze micromodules is de eenvoud en de uniformiteit waardoor mechanisatie mogelijk is. Een nadeel is het grote aantal soldeerverbindingen terwijl de miniaturisatiegraad nog vrij gering is te noemen.

3.2. *Opgedampte onderdelen*

Een hogere miniaturisatiegraad en een kleiner aantal soldeerverbindingen dan in de voorgaande conceptie wordt verkregen door het opdampen van onderdelen op een substraat, bestaande uit een vlakke schijf van glas of keramisch materiaal. Gedacht wordt aan weerstanden zoals *NiCr*-laagjes, ter dikte van 0,1 μ, aan overgedampte elektroden en diëlektrica voor condensatoren, aan overgedampte isolatoren en connectoren.

Deze technologie wordt in Amerika voornamelijk ontwikkeld door *IBM*.

Belangrijk is de stabiliteit van deze opgedampte onderdelen, de reproduceerbaarheid en de bedrijfszekerheid. Een oorzaak voor instabiliteit zijn elektrolyseverschijnselen in het substraat, waardoor plaatselijk oxydatie van het weerstandsfilmpje kan optreden. De keuze van het substraatmateriaal is daarom van belang voor de stabiliteit.

Het aantal soldeerverbindingen bij deze technologie is drastisch beperkt, immers de verbinding tussen twee onderdelen wordt tot stand gebracht door het overelkaar heen dampen van twee metaallaagjes. Op één substraat kan op deze wijze een netwerk, bestaande uit weerstanden en condensatoren aangebracht worden zonder soldeerverbindingen. Tot op heden moeten de benodigde transistoren wel ingesoldeerd worden.

Het aanbrengen van een weerstandsnetwerk gebeurt langs fotografische weg. Het gehele substraatoppervlak wordt bedampt met een laagje *NiCr*. Daarna wordt het bedekt met een laagje niet-gepolymeriseerde plastic, dat volgens een bepaald patroon belicht wordt met ultra-violet licht waardoor polymerisatie optreedt. Het onbelichte gedeelte wordt opgelost, daarna wordt het daaronder gelegen *NiCr* weggeëtst en tenslotte wordt de gepolymeriseerde plastic opgelost. In de toekomst zullen waarschijnlijk geheel andere (zuiver fysische) methoden worden toegepast.

Voor de verbindingen tussen de substraten onderling blijft solderen voorlopig praktisch de enige mogelijkheid. Hiervoor zijn microsoldeermethoden ontwikkeld.

3.3. *„Solidstate Circuitry"*

Een technologie die voornamelijk ontwikkeld is door Texas Instruments is wat zij noemen „Solidstate Circuitry". In tegen-

stelling met de opdampmethode is hier het substraat functioneel ingeschakeld bij het realiseren van een circuit. Het substraat bestaat uit een schijfvormig éénkristal van *Ge* of *Si*.

Transistors en diodes kunnen vanzelfsprekend op elke gewenste plaats gemaakt worden met behulp van de bekende diffusieprocessen.

Een weerstand tussen twee punten kan gemaakt worden op 2 manieren:

a) men maakt gebruik van de weerstand van het substraatmateriaal en brengt die op waarde door plaatselijk materiaal weg te etsen; men spreekt dan van een „bulkresistor"

b) door middel van diffusieprocessen wordt de weerstand op waarde gebracht; men spreekt dan van een „diffused layer resistor".

Ook voor condensatoren heeft men 2 oplossingen:

a) een diode in tegenschakeling vormt een z.g. „junctioncapacitor"

b) het *Si* oppervlak wordt plaatselijk geoxydeerd en bedampt met een elektrodemetaal.

Het geheel wordt om mechanische redenen gemonteerd op een schijf van keramisch materiaal.

Ook bij deze conceptie bereikt men een grote onderdelendichtheid en een beperkt aantal soldeerverbindingen. Een nadeel is dat de weerstanden vrij sterk temperatuur afhankelijk zijn.

3·4. *Moleculaire Elektronica*

Tenslotte worden hier enkele woorden gewijd aan een conceptie waarin, in tegenstelling met de tot nu toe genoemde concepties, het circuit als regel geen separate onderdelen meer bevat. Bedoeld wordt de z.g. „moleculaire elektronica" waarvan de definitie als volgt gegeven kan worden:

> „de synthese van materie met vooraf vastgestelde elektronische eigenschappen zodanig dat zij onder bepaalde omstandigheden een complete elektronische functie verricht die tevoren slechts verricht kon worden door een bepaalde combinatie van actieve en passieve onderdelen".

De studie van de moleculaire elektronica is in Amerika door de U.S. Air Force opgedragen aan Westinghouse. Tot nu toe zijn weinig concrete gegevens gepubliceerd doch Westinghouse beweert reeds 8 verschillende, wat zij noemen „functional electronic blocks" te hebben ontwikkeld.

Men maakt in de moleculaire elektronica gebruik van fysische

effecten zoals het thermoëlektrische effect, het Peltier effect, het Hall effect, het piëzoëlektrische effect, magnetostrictie, elektroluminiscentie, fotogeleiding, enz.

Enkele voorbeelden mogen dit toelichten:

a) Om wisselspanning van bijv. 220 Volt om te zetten in gelijkspanning van bijv. 9 Volt stelt men 'n materiaal samen uit drie gescheiden domeinen. Als eerste een domein waarin de wisselstroom omgezet wordt in warmte. Deze warmte wordt via een tweede domein, dat elektrisch isoleert doch de warmte geleidt, gevoerd naar een derde domein waarin langs thermoëlektrische weg de warmte omgezet wordt in gelijkspanning. Alle functies van transformator, gelijkrichter, en filterelementen zijn hier dus overgenomen door het materiaal.

b) een schijfje piëzoëlektrisch materiaal, voorzien van de juiste elektroden kan fungeren als bandfilter of als transformator.

c) door een combinatie van elektroluminiserend materiaal, fotogeleidend materiaal en lichtdoorlatend geleidend materiaal (*SnO*) is het mogelijk een flip-flop te maken.

Hoewel men bij de moleculaire elektronica niet meer kan spreken van onderdelendichtheid, eenvoudig omdat de onderdelen ontbreken, kan wel het functionele volume vergeleken worden met dat, waarbij gebruik gemaakt wordt van conventionele onderdelen.

Men komt dan tot een grootteorde van 10^6 onderdelen/dm^3.

3.5. *Introductie der genoemde concepties in de praktijk*

Het zal nog wel geruime tijd duren voordat de hier besproken technologieën op grote schaal toegepast worden in de (micro) miniaturisatietechniek; de ene zal zich sneller ontwikkelen dan de andere, maar het is wel zeker dat zij alle binnen afzienbare tijd toegepast zullen worden, niet gescheiden, doch gecombineerd.

Alles wijst erop dat fysica en chemie, tezamen met de moderne elektronische materialen de grondslagen zullen vormen van een miniaturisatieproces dat grote mogelijkheden opent voor een verdere ontwikkeling van de elektronica.

Manuscript ontvangen op 19 juli 1961.

Keramische diëlektrische materialen

door O. Drexler *)

1. Inleiding

Het onderzoek aan keramische diëlektrische materialen is een specialistisch vak, dat zich betrekkelijk zelden in een algemene belangstelling kan verheugen. Toch hebben zich ook op dit gebied in de laatste jaren belangwekkende ontwikkelingen voorgedaan.

In het onderstaande wordt getracht een indruk van de huidige stand van zaken te geven, vooral m.b.t. materiaaleigenschappen. De toepassingen zullen alleen in het kort worden geoemd.

Aan het begin is echter nog een korte beschrijving gesteld van de bereidingswijze van elektrotechnische keramiek.

De enkele stappen van deze bereidingswijze zijn namelijk van groot belang voor het resultaat. Enige kennis hieromtrent is belangrijk voor het begrip van de mogelijkheden van deze materialen.

1.1. *Grondbegrippen.*

Als wij over keramische materialen spreken, dan verstaan wij hieronder stoffen, die overwegend uit kristallen zijn opgebouwd en door een warmte-behandeling van uit droog of vochtig poeder gevormde lichamen zijn ontstaan.

Deze omschrijving scheidt het begrip keramiek vooral af tegen glas, dat overwegend niet-kristallijn is en pas na de warmtebehandeling, het smelten, in de gewenste vorm wordt gebracht. De voor keramiek belangrijkste warmte-behandeling, het branden of sinteren, vindt beneden het smeltpunt van het materiaal plaats, waardoor de vorm van de produkten behouden blijft, hoewel

*) N.V. Philips' Gloeilampenfabrieken, Icoma Keramisch Laboratorium. Eindhoven.

de afmetingen aanzienlijk veranderen. Het soortelijk gewicht, dat bij een gevormd keramisch produkt circa 50% van de dichtheid van een éénkristal van het desbetreffende materiaal is, loopt tijdens het sinteren bij de hier te behandelen materialen op tot ongeveer 95% van deze theoretisch mogelijke waarde. Het volume wordt dus bijna tot de helft verminderd, de afmetingen nemen lineair ongeveer 20% af. Hiermee houdt verband, dat bij keramische produkten in het algemeen vrij ruime toleranties op de afmetingen worden gevraagd, vergeleken met wat bij metalen gebruikelijk is.

1.2. *Grondstoffen.*

De poeders, waaruit keramische stoffen worden gemaakt, waren tot enige tientallen jaren geleden bijna uitsluitend silikaten. Klei, een aluminium-hydro-silikaat, is de belangrijkste grondstof van aardewerk. Door toevoeging van de juiste hoeveelheden aan zand en veldspaat komt men tot de samenstelling van porselein. Speksteen, of talk, is een magnesium-hydro-silikaat en hiervan uitgaande wordt steatiet gemaakt. In de laatste dertig jaren is men ertoe overgegaan om zowel andere oxydische verbindingen als ook zuivere oxyden met behulp van de keramische technologie te gaan fabriceren. In verband hiermee moesten de methoden aan de diverse materialen worden aangepast en werden ook algemeen toepasbare verbeteringen uitgevonden. Men gebruikt voor deze nieuwe tak van de keramiek nu vaak de aanduiding oxydkeramiek of ook wel synthetische keramiek. Een nog nieuwere ontwikkeling uit dezelfde oorsprong stelt de fabricage van niet-oxydische materialen voor: nitriden, boriden, karbiden en dergelijke materialen worden met behulp van dezelfde methoden, uitgaande van poeders, bereid; alleen moet men deze dan in een reducerende of neutrale atmosfeer sinteren.

2. **Bereidingswijze**

Wij willen ons hier beperken tot de oxydische diëlektrische en piëzoëlektrische materialen. Bij de fabricage ervan worden de grondstoffen, meestal technisch zuivere oxyden en carbonaten, intensief gemengd en daarna tijdens een warmtebehandeling tussen 1100 en 1300° C, het zogenaamde voorstoken, met elkaar

tot reactie gebracht, zodat de gewenste verbinding wordt gevormd. Als voorbeeld zij genoemd:

$$BaCO_3 + TiO_2 \xrightarrow{\sim 1200^\circ C} BaTiO_3 + CO_2\uparrow .$$

Het verkregen materiaal wordt dan fijn gemalen, b.v. nat in een kogelmolen, waarbij eventueel nog verdere stoffen kunnen worden toegevoegd.

Een kogelmolen is een cilindrisch vat. Het wordt zo opgesteld, dat de cilinderas horizontaal ligt en men laat het dan om deze as met een bepaalde snelheid wentelen.

Meestal wordt een kogelmolen ongeveer tot de helft gevuld met keramisch poeder, water en maalkogels in een bepaalde verhouding.

Enige details van dit ,,namaalproces" zijn: molenvoering en maalstenen mogen door hun slijtage geen schadelijke verontreinigingen introduceren; de korrelgrootte van het gemalen poeder moet reproduceerbaar en meestal zeer klein zijn (in de orde van grootte van 1 μm), zij is in hoge mate bepalend voor het gedrag tijdens het sinteren; tijdens het affiltreren van de suspensie uit de kogelmolen mag geen ontmenging van verschillende komponenten van de samenstelling optreden.

Het keramische poeder wordt dan met een vloeistof en organische stoffen, zoals cellulose, alginaten of paraffine, gemengd en op deze manier plastisch gemaakt, zodat vormgeving door persen in matrijzen of extruderen uit spuitopeningen (duses) mogelijk wordt.

Na drogen wordt dan gesinterd tussen 1200 en 1400° C, in uitzonderingsgevallen op temperaturen tot 1750° C. Tijdens dit sinteren treedt dus de reeds genoemde verdichting en vermindering van afmetingen op. Het resultaat is een produkt van grote hardheid, dat alleen nog door slijpen met siliciumcarbid- of diamanthoudend gereedschap verder bewerkt kan worden.

Na aanbrengen van geschikte elektroden kunnen nu de elektrische eigenschappen worden bepaald, zoals isolatieweerstand, diëlektrische konstante en diëlektrische verliezen. Het werk op een laboratorium, waar deze materialen worden ontwikkeld, bestaat voor een groot gedeelte uit pogingen om deze eigenschappen weer te correleren met de chemische samenstelling, waarvan men is uitgegaan; met de bereidingswijze, die gevolgd werd; met de aanwezige kristallijne fasen, die met behulp van Röntgen-diffrac-

tometrie kunnen worden aangetoond; met de korreltextuur, die aan gepolijste en eventueel nog geëtste vlakken van het preparaat in een microskoop kan worden waargenomen.

Zojuist zijn dus een aantal hulpmiddelen genoemd, die bij het ontwikkelingswerk aan deze materialen ter beschikking staan. Ter illustratie daarvan zullen enkele microfoto's dienen.

3. Voorbeelden van de textuur

Figuur 1 toont een gepolijst oppervlak, gefotografeerd met opvallend licht. De zwarte vlakjes zijn poriën, afgesloten holtes, die in nagenoeg alle keramische materialen aanwezig zijn. Het zijn de overblijfselen van de ruimte, die tussen de poederdeeltjes tijdens de vormgeving open bleef. Naast de zwarte poriën kunnen wij ook nog grijze plaatsen herkennen. Dit is materiaal met een ander reflectievermogen, een tweede fase dus. Met behulp van een microskoop zijn nog zeer kleine concentraties van een tweede fase waar te nemen, ook indien deze amorf is, dus geen kristalstructuur bezit. De microskoop kan in bepaalde gevallen dus meer inlichtingen verschaffen dan Röntgen-diffractie.

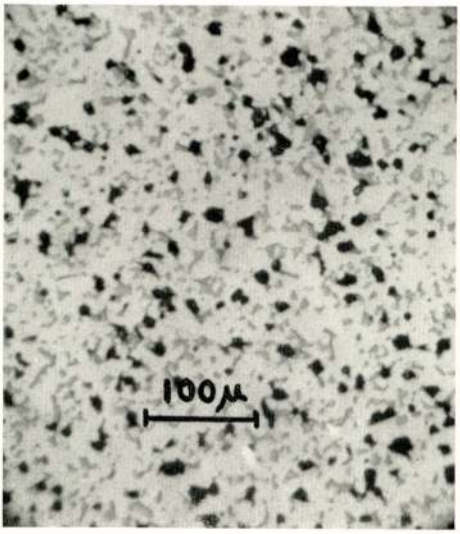


Fig. 1
Microfoto van een gepolijst oppervlak. Tweefasig materiaal. Voor details zie tekst.

Door een etsproces kan nog meer van de opbouw van het materiaal zichtbaar worden gemaakt. De oorspronkelijke poederdeeltjes of onderdelen daarvan zijn immers kleine éénkristallen en in het gesinterde materiaal hecht met elkaar verbonden, bij wijze van spreken aan elkaar gelast of eventueel door een tweede fase aan elkaar gekit. Deze kleine kristallen, die de bouwstenen van het polykristallijne keramische materiaal zijn, noemen wij hier de korrels en de afscheidingslijnen tussen de verschillende korrels de korrelgrenzen. Figuur 2 toont een dergelijk geëtst preparaat in matige vergroting. Hier is slechts één kristal-

lijne fase aanwezig. Figuur 3 is een opname van hetzelfde preparaat met een sterkere vergroting. Er zijn door lijnen afgescheiden individuele deeltjes zichtbaar. Men kan duidelijk zien, dat de poriën zowel in de korrels als op de korrelgrenzen vóórkomen en men kan een schatting doen van de korrelafmetingen.

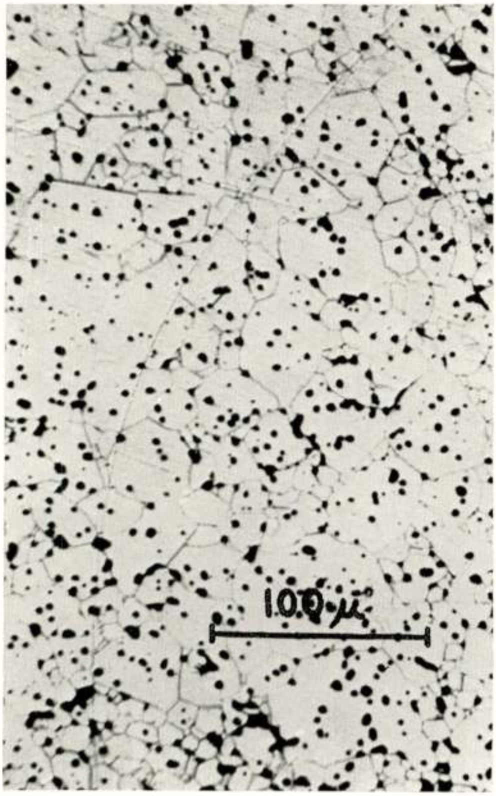


Fig. 2
Microfoto van een gepolijst en geëtst oppervlak. Een fase. Voor details zie tekst.

Deze laatste kunnen ver uiteenlopen. Op de foto van figuur 4, die met dezelfde vergroting als de vorige is gemaakt, kan men enkele grotere korrels temidden van een fijnkristallige massa waarnemen. Hierbij ligt de korrelgrootte van het fijnere gedeelte aan de grens van het scheidend vermogen van de lichtmicroskoop. De elektronenmicroskoop kan dan verder helpen, zoals op figuur 5 is te zien. Hiermee kunnen nog verdere details van de korrels zelf waargenomen worden.

Na deze afdwaling naar de keuken van de moderne keramische materialen, zal nu wat nader op de materialen zelf worden ingegaan.

4. Overige eigenschappen

Alle drie groepen, die wij in deze sector kunnen onderscheiden: isolatiematerialen, condensatormaterialen en piëzoëlektrische materialen hebben een voorname eis gemeen: zij moeten een hoge elektrische isolatieweerstand tonen. Dit impliceert voor alle normale toepassingen, waar namelijk niet steeds in vacuum, bij verhoogde temperatuur of onder hermetische afsluiting wordt

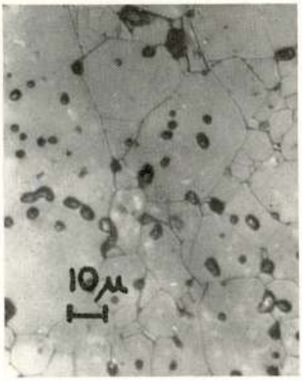


Fig. 3
Sterkere vergroting van het preparaat van figuur 2.

gewerkt, dat het keramische materiaal impermeabel moet zijn, dus geen doorlopende poriën mag bevatten. Op het stuk keramiek, dat in één van deze toepassingen wordt gebruikt, zijn immers op de een of andere manier elektroden of metalen delen aangebracht, waartussen elektrische spanning komt te staan. Als de afstand tussen deze elektroden onder vochtige omstandigheden door een film van water kan worden overbrugd, dan zal de isolatieweerstand onvoldoende worden. Een eerste vereiste is dus dicht of impermeabel materiaal. Dat aan deze eis met de beschikbare grondstoffen en apparatuur voor alle samenstellingen wordt voldaan, vraagt steeds de aandacht van ontwikkelingsgroepen en fabricage-afdelingen.

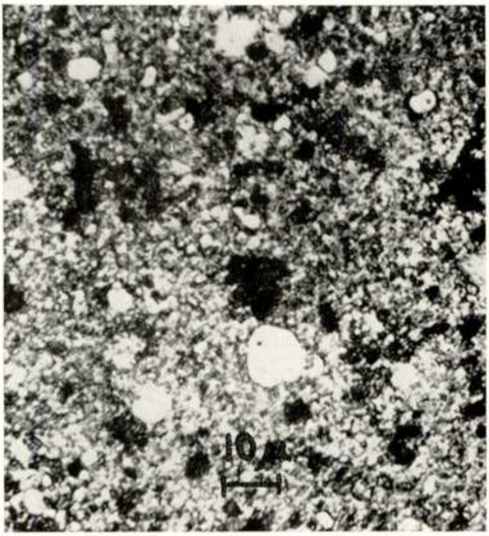


Fig. 4
Fijnkristallig materiaal met enkele grote korrels. Voor details zie tekst.

Naast deze zojuist genoemde primaire eis bestaan voor de individuele produkten bepaalde specificaties betreffende afmetingen en toleranties daarop, vastgelegd in de produkttekeningen.

4.1. *Isolatiematerialen.*

Deze voldoen aan de specifieke eisen, zoals verliezen en isolatieweerstand als functie van de temperatuur, meestal ruim, zodat het mogelijk is om met weinig controle te volstaan. Als toepassingen is hierbij echter uitsluitend aan onderdelen voor HF-techniek gedacht, niet aan isolatoren voor hoogspanningsleidingen en andere toepassingen bij netfrequentie. Voorbeelden voor deze materialen zijn porselein, steatiet, for-

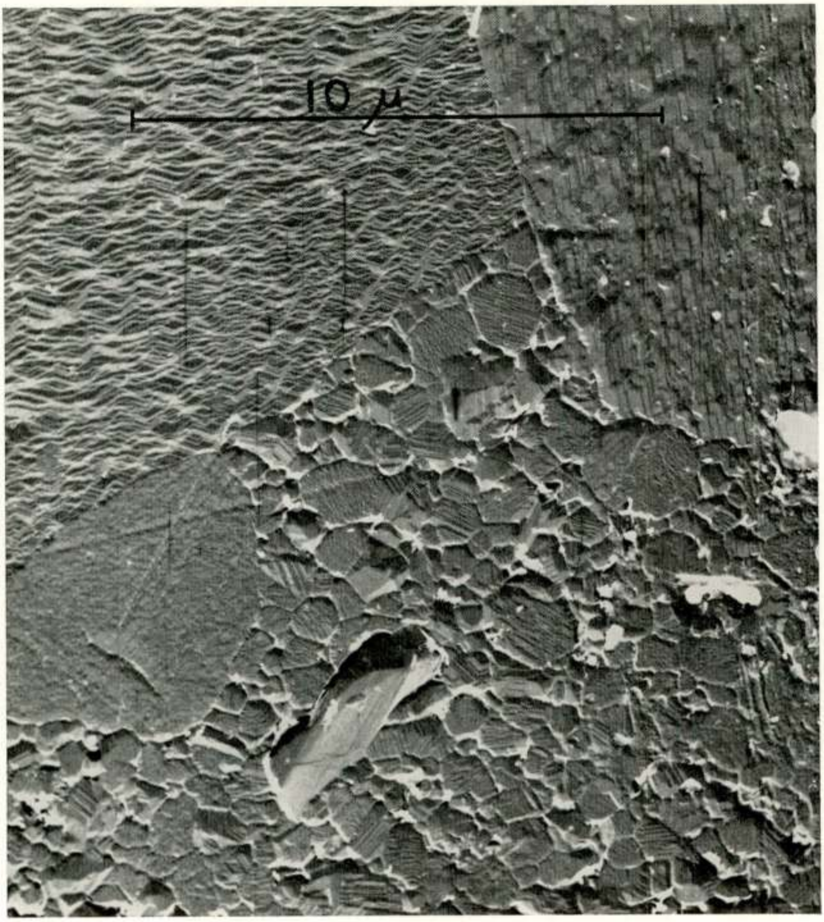


Fig. 5
Elektronenmicroskoopopname van het preparaat van figuur 4.

steriet en aluminiumoxyde. Tabel 1 toont nadere gegevens hiervan.

De toepassing van deze materialen is vooral als dragers voor diverse soorten weerstanden: draadgewonden respectievelijk met een kool- of metaaloxydelaag.

Verder gebruikt men keramisch isolatiemateriaal ook als isolerend constructie-onderdeel voor variabele condensatoren, in elektronenbuizen en sinds enkele jaren ook als omhulling van zendbuizen in plaats van glas. Via een metalliseerlaag kunnen met de nu bekende methoden reeds een aantal keramische materialen met een metaal van ongeveer passende thermische uitzettingscoëfficiënt vacuumdicht worden verbonden en het geheel kan bij hogere temperaturen worden ontgast en in bedrijf met

Tabel 1

ISOLATIEMATERIALEN

NAAM	PORSELEIN	STEATIET	FORSTERIET	ALUMINIUMOXYDE
Samenstelling, molair, bij benadering	$3\,Al_2O_3 \cdot 2\,SiO_2$	$MgO \cdot SiO_2$	$2\,MgO \cdot SiO_2$	$95\%\ Al_2O_3$
Soortelijk gewicht ca.	2,4	2,7	2,8	3,6
Buigsterkte in kgf/mm² minimaal	9	12	10	25
Lin. uitzett. coëff. (20 ... 700° C) in 10^{-6}/°C	5,5	7,9	10,5	7,2
Diëlektrische constante ε ca.	5,5	6,5	6,2	9,5
Diëlektrische verliezen tan δ in 10^{-3} bij 1 MHz en 20° C maximaal	8	2	0,4	1
Soortelijke weerstand in $\Omega \cdot m$ bij 200° C	10^7	10^{10}	10^{12}	10^{11}

hogere vermogens werken dan met glas mogelijk is geweest.

Vrij spectaculaire ontwikkelingen hebben zich met één materiaal uit deze sector voltrokken, met aluminiumoxyde. Enerzijds in de richting van de vormgeving: Neuskegels van raketten worden gedeeltelijk al indrukwekkend groot en met zeer exacte afmetingen gemaakt. Het materiaal hiervan moet de elektromagnetische golven t.b.v. de Radar-apparatuur zoveel als mogelijk en zo gelijkmatig als mogelijk is doorlaten. Anderzijds ging de ontwikkeling in de richting van een voor keramisch materiaal unieke textuur: Men heeft aluminiumoxyde zo weten te sinteren, dat het praktisch geheel vrij wordt ook van afgesloten poriën en daarom doorschijnend voor licht. Hiermee maakt men in de U.S.A. reeds hogedruk-gasontladingslampen met nog kleinere afmetingen, dan tot nog toe met kwarts mogelijk is geweest.

4.2. *Condensatormaterialen.*

Condensatormaterialen zijn in wezen ook isolatiematerialen. Hierbij let men echter in eerste instantie op de grootte van de diëlektrische constante ε, omdat het de opzet is om door aanbrengen van elektroden — meestal een ingebakken zilver-emaillelaag — een vaste capaciteitswaarde te maken met een zo klein mogelijk volume. Het keramisch condensatormateriaal wordt in de vorm van buisjes of plaatjes gefabriceerd, waarbij de wanddikte zo wordt gekozen, dat de reeksen van condensatoren — mede door aanpassing van het elektrodenoppervlak — voor alle capaciteitswaarden zo mogelijk uniforme afmetingen hebben.

4.2.1. Lage ε-materialen.

Materialen met een waarde van ε beneden ca. 150 kunnen zeer lage verliezen tonen: $\tan\delta < 5.10^{-4}$. Ook de overige eigenschappen zijn zo stabiel, dat de condensatoren uit deze materialen zich voor toepassing in afgestemde kringen lenen. Men spreekt in het algemeen hierbij over lage ε-materialen en klasse I condensatoren. Naast de capaciteitswaarde is het belangrijkste kenmerk van deze condensatoren hun temperatuurscoëfficiënt (TC_ε), dat wil zeggen de mate waarin de capaciteit bij verandering van de temperatuur verloopt. Soms is een zo klein mogelijke variatie van de capaciteitswaarde gewenst, soms een gedefinieerd negatief verloop, b.v. ter compensatie van de positieve tempe-

ratuurscoëfficiënt van andere onderdelen, b.v. de spoel van de afgestemde kring.

Men heeft experimenteel gevonden, dat in verschillende oxydsystemen hiervoor bruikbare keramische materialen kunnen worden gemaakt en verder dat de TC_ε met stijgende ε steeds negatiever wordt. Dit verband is echter enigszins te doorbreken door gebruik te maken van twee fasen in het keramische materiaal.

In eerste benadering vindt men namelijk volgens Lichtenecker*) in de mengregel voor de diëlektrische constante van een tweefasen-systeem

$$log\, \varepsilon = x \,.\, log\, \varepsilon_1 + (1 - x) \,.\, log\, \varepsilon_2 \,,$$

waarin x het volume-aandeel van de fase met ε_1 voorstelt. Door differentiatie naar de temperatuur wordt dit tot

$$TC_\varepsilon = x \,.\, TC_{\varepsilon_1} + (1 - x) \,.\, TC_{\varepsilon_2} \,.$$

Dit betekent, dat de invloed van een grote TC_ε van een bepaalde fase zich in het mengsel veel meer doet gelden dan de invloed van een grote waarde van ε zelf. Het is zo mogelijk geweest om materialen met een gelijke TC_ε, maar verschillende diëlektriciteitsconstante, te maken, teneinde een grote reeks van capaciteitswaarden met dezelfde TC_ε te kunnen fabriceren.

Voorbeelden van een aantal van deze materialen zijn in tabel 2 gegeven. Hier vindt men een ε 18- en een ε 40-materiaal met een lage TC_ε en een ε 38- en een ε 90-materiaal met een sterk negatieve TC_ε. De waarden van TC_ε moeten voor het keramische materiaal negatiever zijn dan van de condensatoren wordt geëist, omdat de omhullende lak aanleiding geeft tot een strooicapaciteit met sterk positieve TC_ε.

Naast de in de tabel genoemde reeks bestaan er nog materialen voor condensatoren met een TC_ε van P 100, P 033, N 033, N 047, N 075, N 220, N 330, N 470, N 1500 en N 2200, gedeeltelijk met zeer nauwe toleranties op de TC_ε. Het getal geeft hierbij de temperatuurscoëfficiënt in $10^{-6}/°C$, de letter P en N, of deze positief of negatief is.

4.2.2. Hoge ε-materialen

Op een geheel andere basis dan de reeks besproken conden-

*) K. Lichtenecker, Phys. Z, **27**, (1926) 115.

Tabel 2

LAGE ε-MATERIALEN

Temp. coëff. van de condensator	NPO	NPO	N 150	N 750	N 750
Temp. coëff. van het materiaal in $10^{-6}/°C$	$+10 \ldots -40$	$+10 \ldots -40$	$-140 \ldots -190$	$-660 \ldots -870$	$-660 \ldots -870$
Diëlektrische constante ε bij 1 MHz en 20°C	18	40	45	38	90
Diëlektrische verliezen $\tan \delta$ in 10^{-3} bij 1 MHz en 20°C maximaal	0,3	0,5	0,5	0,5	0,5
Soortelijke weerstand in Ω.m bij 20°C min.	10^{12}	10^{11}	10^{11}	10^{11}	10^{11}
Bedrijfsveldsterkte in kV=/mm maximaal	2,5	2	2	1,5	2
Doorslagveldsterkte in kV_{eff}/mm min.	10	7	7	7	7

satormaterialen berusten de zogenaamde hoge ε-materialen, die voor de klasse II condensatoren worden gebruikt. De als rutiel gekristalliseerde vorm van titaandioxyde met een ε van circa 100 was vanaf zijn eerste toepassing in het begin van de dertiger jaren het keramische materiaal bij uitstek voor condensatoren met het kleinste volume. Dit veranderde drastisch toen men tijdens de tweede wereldoorlog in Amerika en in Rusland ongeveer gelijktijdig tot de waarneming kwam, dat $BaTiO_3$, dat ook met keramische methoden was te fabriceren, bij kamertemperatuur een ε van circa 1500 toont. Wel zijn bij dit materiaal de verliezen een faktor 10 à 100 hoger en ook een reeks van andere eigenschappen is voor het gebruik als condensatoren minder gunstig.

Er zijn echter in de gebruikelijke schakelingen van b.v. omroep- en TV-ontvangers vele plaatsen, waar condensatoren voor koppel- en ontkoppeldoeleinden worden gebruikt. Hierbij is het alleen belangrijk, dat gelijkstroom niet wordt doorgelaten en de capaciteitswaarde binnen zekere grenzen ligt. Ook toepassingen voor ontstoring zijn niet kritisch behalve met betrekking tot de doorslagspanning van de condensator.

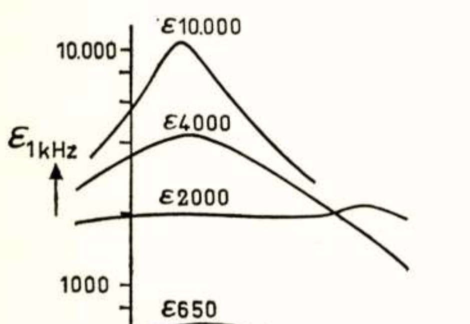


Fig. 6
Temperatuurafhankelijkheid van de diëlektrische konstante van hoge ε-materialen. Voor ε is een logarithmische schaal gekozen.

Toen men zich realiseerde, dat ook voor condensatoren met relatief hoge verliezen en ook overigens niet zeer stabiele eigenschappen vele mogelijkheden van toepassing bestonden, werd uit het oorspronkelijke bariummetatitanaat een reeks van nieuwe materialen ontwikkeld. Door vorming van mengkristallen met andere oxyden werd de waarde van ε bij kamertemperatuur vastgelegd op b.v. 250, 650, 2000, 4000 en 10.000, terwijl door verdere toevoegingen de overige eigenschappen zoveel mogelijk in gunstige zin werden

Tabel 3.

HOGE ε-MATERIALEN

Diëlektrische constante ε bij 1 kHz en 20°C	250	650	2000	4000	10.000
Variatie van ε tussen -25 en $+85$°C m.b.t. 20°C in % max.	$+8\ldots-20$	$+10\ldots-20$	$+10\ldots-10$	$+10\ldots-40$	$+20\ldots-70$
Oudering van ε tussen 24 en 500^{h} na verhitting in % max.	1,5	4,5	1,5	8	10
Diëlektrische verliezen $\tan\delta$ in 10^{-3} bij 1 kHz en 20°C max.	2,5	7,5	30	20	25
Soortelijke weerstand in Ω . m bij 20° C min.	10^{10}	10^{10}	10^{10}	10^{10}	10^{9}
Bedrijfsveldsterkte in kV =/mm max.	1	1,5	2	1,5	0,8
Doorslagveldsterkte in kV_{eff}/mm min.	4,5	3	3,5	2	1,5
Daling van ε bij belasting met gelijkspanning overeenkomstig halve max. bedrijfsveldsterkte in % ca.	3	7	15	30	35

gemodificeerd. Tabel 3 laat getallen zien van enkele van deze eigenschappen. De capaciteitsvariatie als functie van de temperatuur is duidelijker te beoordelen op figuur 6, waaruit af te lezen valt, dat het ε 2000-materiaal er relatief zeer gunstig voor staat en dat het ε 10.000-materiaal bij voorkeur enkel tussen ca. 10° en 50° C moet worden toegepast. In tabel 3 zijn verder nog genoemd de oudering, dat is het verloop van ε met de tijd na de laatste verhitting boven 150° C, de verliezen, de toelaatbare bedrijfsveldsterkte en de minimumwaarde van de doorslagveldsterkte met wisselspanning. Deze laatste is maar enkele volts per micron, terwijl papier- en polyesterfolie vele tientallen volts per micron kunnen weerstaan. Deze relatief lage doorslagspanning, tezamen met de technologische moeilijkheid om zeer dunne lagen van keramiek te maken, zijn de oorzaak, dat van de enorm hoge waarden van ε in vergelijking met foliecondensatoren niet zoveel profijt kan worden getrokken, als dit op het eerste gezicht mogelijk lijkt. Daarbij komen nog de reeds meermalen genoemde instabiliteiten: ε en $\tan\delta$ van de hoge ε-materialen zijn in principe afhankelijk van temperatuur, frequentie, meetspanning, voorspanning en tijd. De variaties zijn in het algemeen maar enkele procenten, doch kunnen onder extreme omstandigheden oplopen tot enkele tientallen procenten. Meestal zijn deze variaties bij materialen met hogere waarden van ε groter. Als een voor de praktijk belangrijk voorbeeld is in tabel 3 de daling van ε onder een voorspanning gelijk aan de helft van de toelaatbare bedrijfsveldsterkte opgenomen.

Deze zeer specifieke eigenschap kan, mits een materiaal zo wordt ontwikkeld, dat de spanningsafhankelijkheid van ε de grootst mogelijke waarde vertoont, voor de construktie van diëlektrische versterkers worden gebruikt.

4.3. *Piëzoëlektrische materialen.*

Een andere bijzonderheid van de hoge ε-materialen heeft tot een reeds nu zeer belangrijke praktische toepassing geleid. De grote waarde van ε gaat namelijk in de regel gepaard met het piëzoëlektrische effekt: Op éénkristallen van dit materiaal ontstaat bij een mechanische vervorming een elektrische lading en omgekeerd ontstaat er een vervorming bij het aanleggen van een elektrische spanning.

Het polykristallijne materiaal, dat met behulp van de kera-

mische technologie wordt verkregen, kan dit effekt ook vertonen, indien er een elektrische oriëntatie wordt aangebracht.

Door middel van een uitwendig elektrisch veld, eventueel gepaard gaande met een verwarming, kunnen de in het materiaal aanwezige dipolen zodanig worden gericht, dat het keramische voorwerp een elektrische voorkeursrichting vertoont: het wordt gepolariseerd of gepoold, zoals men deze bewerking ook wel pleegt te noemen.

Een en ander is in vergaande analogie met het magnetiseren van magneetstaal en ook de fysische achtergronden van het ferromagnetisme en de „ferroëlektriciteit" vertonen veel gelijkenis.

In het kader van deze inleiding wordt volstaan met van de keramische piëzoëlektrische materialen enkele toepassingen te vermelden: Zij worden gebruikt om ultrasone trillingen op te wekken, b.v. in wasmachines en t.b.v. de bewerking van metalen. Zij kunnen met voordeel seignettezoutkristallen in grammofoonafspeelapparatuur vervangen. Een andere belangrijke toepassing zal zich mogelijkerwijs als filterelement in schakelingen van ontvangtoestellen ontwikkelen. Verder zijn er in de U.S.A. reeds succesvolle proeven genomen om door middel van mechanische druk op een piëzoëlektrisch plaatje zo hoge spanningen te verwekken, dat bougies van een verbrandingsmotor ontstoken kunnen worden. De hiervoor benodigde druk zou door een soortgelijk mechanisme te verkrijgen zijn, als waarmee de ventielen van de cilinders worden bediend.

De laatstgenoemde ontwikkelingen zijn echter pas binnen de grenzen van het mogelijke gekomen, nadat naast de oorspronkelijk gebruikte mengkristallen van bariumtitanaat ook nog mengkristallen van loodzirkonaat-titanaat beschikbaar waren. Deze vertonen een veel hogere elektro-mechanische koppeling, het rendement van de omzetting van mechanische in elektrische energie en omgekeerd is dus hoger, en bovendien is het temperatuurinterval, waarbinnen het piëzoëlektrisch effekt aanwezig en de eigenschappen betrekkelijk constant zijn, aanzienlijk groter.

5. Slotopmerking

Samenvattend valt te konstateren, dat de ontwikkeling van de oxydische diëlektrica nog niet is afgesloten (de zoiuist ge-

noemde loodverbindingen b.v. zijn pas in 1955 voor het eerst gepubliceerd) en dat er naast optimalisatie van de eigenschappen van nu reeds bekende materialen met vrij grote waarschijnlijkheid nog geheel nieuwe resultaten te verwachten zullen zijn.

Manuscript ontvangen 28 juni 1961.

Tendenzen in de ontwikkeling van magnetische materialen voor de elektronische industrie

door A. J. de Rooy *)

1. Overzicht van de verschillende ferrietgroepen

Het is nu veertien jaren geleden dat dr Snoek de resultaten van zijn onderzoekingen op het gebied der ferrieten wereldkundig maakte. [1] Deze onderzoekingen toonden aan, dat bij ferrieten een zeer bruikbare kombinatie van eigenschappen te realiseren is, zoals hoge permeabiliteit, lage magnetische verliezen en een zeer laag elektrisch geleidingsvermogen. Men heeft toen niet kunnen vermoeden welke enorme vlucht de toepassing van ferrieten in de elektronische industrie zou nemen.

Uit de oorspronkelijke kubische ferrietsamenstellingen, welke het onderwerp waren van de studies van dr. Snoek, heeft zich een reeks ferrieten ontwikkeld met bijzondere eigenschappen voor spoelen, transformatoren, etc. in het frequentiegebied van 1 kHz tot 300 MHz.

In 1948 werd in het laboratorium van General Ceramics in Amerika ontdekt, dat een bepaalde samenstelling in de rij der kubische ferrieten een rechthoekige hystereselus vertoonden. [2] Het bleek onmiddellijk, dat dit ferriet verre superieur was wat schakeltijd betreft t.o.v. metallische magnetica met rechthoekige hystereselus. Deze ontdekking is aanleiding geweest tot het ontstaan van een reeks ferrieten met bijzondere eigenschappen voor rekenmachines en logische schakelingen. [3]

De onderzoekingen van resonantieverschijnselen op faradayrotatie, circa 10 jaar geleden, heeft geleid tot het ontstaan van een nieuwe groep van ferrieten zonder welke de hedendaagse microgolftechniek onbestaanbaar zou zijn. [4]

Uit de studie naar de omzetting van magnetische energie in mechanische energie en omgekeerd met behulp van ferrieten is in 1958 weer een nieuwe groep ferrieten ontstaan met aantrekkelijke eigenschappen voor mechanische filters en ultra-akoestische vermogensopwekking. [5]

---

*) N.V. Philips Gloeilampenfabrieken, Eindhoven.

Deze zogenaamde magnetostrictieve ferrieten zijn beslist niet de laatste ontwikkelingen der kubische ferrieten, want ferrieten met hoge slijtvastheid en met verdere bijzondere eigenschappen voor magnetische registratie zullen binnen afzienbare tijd beschikbaar zijn.

Deze opsomming heeft alleen betrekking op de groep der kubische ferrieten ontstaan uit de onderzoekingen van dr. Snoek.

In het begin der jaren vijftig vond men in het Natuurkundig Laboratorium van Philips, dat uit bepaalde ferrieten van barium, strontium en lood permanente magneten kunnen worden vervaardigd met weliswaar een lagere verzadigingsmagnetisatie dan de bestaande metaalmagneten, maar met een zeer hoge coercitieve veldsterkte. Deze niet-metallische magneten hebben intussen een zeer uitgebreid toepassingsgebied gevonden naast de bestaande metaalmagneten.

Deze ontdekking was de aanleiding tot een systematisch onderzoek van andere ferrietverbindingen met hexagonale kristalstruktuur. Uit dit onderzoek zijn in het midden der jaren vijftig een aantal hexagonale ferrieten voortgekomen, die aangeduid worden met de naam ferroxplana. [7] Deze behoren tot de zachte magnetische materialen, de permeabiliteit van deze ferrieten is niet hoog, maar de magnetische verliezen blijven laag tot ca 1000 MHz.

In dezelfde periode werden bij Prof. Néel in Grenoble en bij de Bell Laboratories ferrieten met de structuur van het mineraal granaat onderzocht. Hieruit zijn een aantal samenstellingen ontstaan met interessante eigenschappen voor microgolftoepassingen. [8]

Binnen het tijdsbestek van deze voordracht is het niet mogelijk de belangrijke eigenschappen van al deze ferrietsoorten te bespreken. Daarom wil ik mij beperken tot enkele voorbeelden uit de groep der kubische ferrieten en enkele toepassingen daarvan bespreken.

2. Kubische ferrieten

De kubische ferrieten hebben de structuur van het mineraal spinel $MgAl_2O_4$. De algemene chemische formule is MeF_2O_4, waarin met *Me* wordt aangeduid een tweewaardig metaalion of een combinatie van tweewaardige metaalionen.

Door substituties van verschillende metaalionen is het mogelijk de fysische eigenschappen van het ferriet te beinvloeden

en daardoor een reeks ferrieten te realiseren die aangepast zijn aan de specifieke eisen, welke de moderne elektronica voor elk toepassingsgebied stelt. De ferrieten onderscheiden zich van de metalen enerzijds door hun hoge specifieke weerstand, anderzijds door hun lage verzadigingsmagnetisatie.

De specifieke weerstand varieert afhankelijk van de gesubstitueerde metaalionen tussen can 10^{-2} en 10^{11} Ω cm. De verzadigingsmagnetisatie is maximaal 5600 Gauss.

De produktiemethoden, welke gebruikt worden bij het vervaardigen van de verschillende ferrietonderdelen, vertonen grote overeenkomst met de methoden welke algemeen in de keramische industrie gebruikt worden.

De vormgeving geschiedt door een mengsel van verschillende oxyden te persen. Het geperste produkt wordt daarna gesinterd op een temperatuur tussen ca 1200 à 1400° C.

Als voordeel van deze methode zou men kunnen noemen het feit, dat een onderdeel met een moeilijke vorm in één persbehandeling op een zeer economische wijze vervaardigd kan worden.

Een nadeel van de keramische produktiemethode is echter, dat bij de daarna uitgevoerde sintering een belangrijke krimp optreedt, waardoor de uiteindelijke maattolerantie niet beter is dan $\pm 2\%$.

Een zeer hoge precisie kan, indien noodzakelijk, wel bereikt worden door slijpen en polijsten na het sinteren. Afgezien van het kostprijsverhogende effect hiervan, zal bij sommige onderdelen met een ingewikkelde vorm een dergelijke additionele bewerking niet altijd voor elke afmeting mogelijk zijn.

2.1 *Ferrieten voor spoelen en transformatoren*

Een van de oudste toepassingsgebieden van de kubische ferrieten is het gebied van de spoelen in *L-C* filters en van de transformatoren voor hogere frequenties.

Spoelen

De belangrijkste eisen welke gesteld worden aan ferrieten voor gebruik in spoelen zijn:

lage verliezen

een hoge stabiliteit van de zelfinductie

een hoge waarde van de beginpermeabiliteit μ_i.

Het is de taak van de ontwikkelaar van ferrieten ervoor te zorgen, dat hij het beste compromis tussen deze eisen realiseert en zijn eerste vraag is dan ook hoe dit compromis geformuleerd kan worden. Hierover kan het volgende gezegd worden.

De verliezen van een spoel kunnen gesplitst worden in de zuivere magnetische verliezen R_m, die hun oorzaak vinden in het ferriet en de overige verliezen, die veroorzaakt worden door de wikkelingen R_w of die samenhangen met de gekozen dimensionering van de magnetische kern R_k.

In een formule uitgedrukt:

$$R_{tot} = R_m + R_w + R_k \tag{1}$$

Het optimale compromis, wat betreft de verliezen, wordt in de spoel bereikt indien

$$R_m = R_w + R_k. \tag{2}$$

Nu geldt in het algemeen, dat de magnetische verliezen (R_m) recht evenredig zijn met de effectieve permeabiliteit van de kern en de overige verliezen ($R_w + R_k$) omgekeerd evenredig hiermede. Indien derhalve $R_m > (R_w + R_k)$ kan de gelijkheid $R_m = R_w + R_k$ bereikt worden door een verlaging van de effectieve permeabiliteit. Hiertoe wordt de luchtspleet in het magnetische circuit vergroot.

Indien $R_m < (R_w + R_k)$ komt de kwaliteit van het ferriet niet tot zijn recht. Het ferriet zal dan te kostbaar zijn.

Bij de beschouwing van de stabiliteit van de zelfinductie moeten wij rekening houden met twee factoren n.l. de drift, die het gevolg is van temperatuursverandering en de drift, welke een gevolg is van ouderingsverschijnselen.

Beide grootheden worden uitgedrukt in een materiaalconstante, te weten $\frac{\triangle \mu_i}{\mu_i^2 \triangle T}$ voor de temperatuurcoëfficient, en $\frac{\triangle \mu_i}{\mu_i^2 \triangle \log t}$ voor de drift tengevolge van oudering de z.g. desaccommodatie.

De waarde van de temperatuurcoëfficient, resp. de desaccommodatie van de spoel wordt gevonden door de materiaalconstante te vermenigvuldigen met de effectieve permeabiliteit μ_e, derhalve

$$\frac{\triangle \mu_e}{\mu_e \triangle T} \text{ van de spoel} = \frac{\mu_e}{\mu_i} \frac{\triangle \mu_i}{\mu_i \triangle T} \text{ resp.} \tag{3}$$

$$\frac{\triangle \mu_e}{\mu_e \triangle \log t} \text{ van de spoel} = \frac{\mu_e}{\mu_i} \frac{\triangle \mu_i}{\mu_i \triangle \log t} \tag{4}$$

Hieruit ziet men dat de stabiliteit opgevoerd kan worden door verlaging van de effectieve permeabiliteit.

Uit het voorgaande zal het duidelijk zijn, dat er sprake is van het beste compromis tussen de 3 genoemde eisen indien de μ_e, welke optimaal is wat betreft de verliezen, gelijk is aan de μ_e welke nodig is voor de stabiliteit.

De kwaliteitsverbetering van ferrieten voor gebruik in L.C. filters is er dan ook op gericht de magnetische verliezen te verlagen en de stabiliteit op te voeren met in achtneming van het hiervoor besproken compromis tussen beide parameters.

Om verdere kwaliteitsverbetering in de toekomst mogelijk te maken, wordt in de ontwikkellaboratoria veel aandacht besteed aan de bestudering van de mechanismen welke de verliezen en de instabiliteit veroorzaken.

Voor de verliezen in het magnetische materiaal kunnen drie mechanismen verantwoordelijk zijn n.l.:

wervelstroomverliezen
hysteresisverliezen
restverliezen

In filtertoepassingen werkt men slechts bij lage inductieniveaux, zodat hiervoor de hysteresisverliezen buiten beschouwing gelaten mogen worden. Er blijven dan over de wervelstroomverliezen en de restverliezen. Wegens de hoge specifieke weerstand van ferrieten zijn de wervelstroomverliezen van ondergeschikt belang.

De oorzaak van de restverliezen is niet altijd bekend. Meestal hebben zij over een breed frequentiegebied een constante lage waarde en lopen bij hogere frequentie sterk op tot zij bij een bepaalde frequentie een maximum bereiken. Dit maximum wordt veroorzaakt door een resonantieverschijnsel samenhangend met de kracht welke de magnetische momenten in het materiaal aan een bepaalde voorkeursrichting bindt.

Naarmate deze kracht groter is zal enerzijds de resonantiefrequentie een hogere waarde hebben, maar anderzijds de magnetische permeabiliteit kleiner zijn (figuur 1).

Het verband dat bestaat tussen de grootte van de beginpermeabiliteit en de resonantiefrequentie, waarbij de restverliezen hun grootste waarde hebben, heeft geleid tot een reeks ferrieten, waarin voor elk frequentiegebied de optimale combinatie tussen restverliezen en beginpermeabiliteit is nagestreefd.

Een dergelijke reeks ferrieten is weergegeven in figuur 2.

Bij de ontwikkeling van deze reeks ferrieten is er naar gestreefd de magnetische verliezen zoveel mogelijk te verlagen.

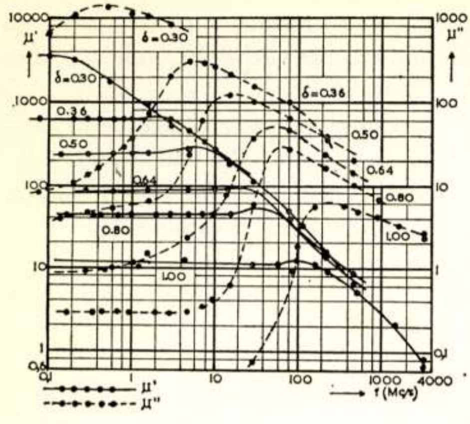


Fig. 1

Het reële en imaginaire deel van de beginpermeabiliteit μ' resp. μ'' als functie van de frequentie voor een reeks nikkelzinkferrieten met de chemische formule $Ni\,\delta\,Zn\,1-\delta\,Fe_2 0_4$. De verlieshoek $tg\delta$ voor de restverliezen

$$tg\delta_n = \frac{\mu''}{\mu'}.$$

Overgenomen uit „Ferrieten" blz. 269 van J. Smit en H. P. J. Wijn.

De toelaatbare μ_e wordt bij deze ferrieten geheel begrensd door de stabiliteit, welke belangrijk verbeterd zal moeten worden om het eerder besproken compromis tussen verliezen en stabiliteit te bereiken.

De ontwikkeling van ferrieten voor gebruik in LC-filters concentreert zich op dit moment dan ook geheel op verbetering van de stabiliteit.

Deze stabiliteit wordt bepaald door twee faktoren n.l. de desaccommodatie en de temperatuurscoëfficient.

In figuur 3 is weergegeven het verloop van de beginpermeabiliteit gedurende een uur na ontmagnetiseren van een laboratoriumpreparaat van een mangaan-zink-ferriet.

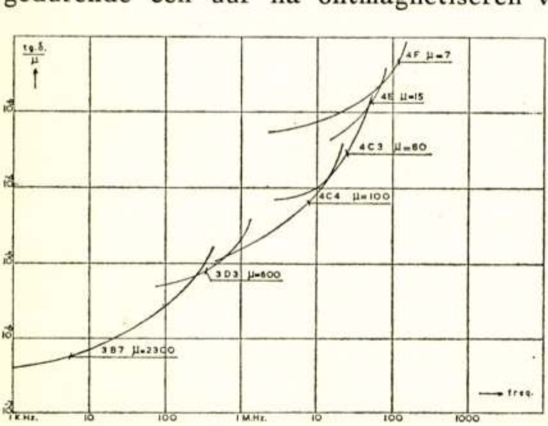


Fig. 2

De restverliezen als functie van de frequentie van een reeks moderne ferroxube materialen. De restverliezen zijn hier uitgedrukt als $tg\delta/\mu$.

Het is duidelijk, dat dit desaccommodatie-effect zo klein mogelijk moet worden. Omtrent het mechanisme, dat verantwoordelijk is voor de desaccommodatie, heerst nog geen eenstemmigheid. Vast staat, dat ordeningseffecten optreden, welke het

ferriet als het ware harder maken, waardoor de permeabiliteit afneemt. Wanneer men het ferriet magnetisch of mechanisch aanstoot, wordt deze ordening verstoord en treedt opnieuw een instabiele toestand op, welke zich in de loop van de tijd weer stabiliseert,

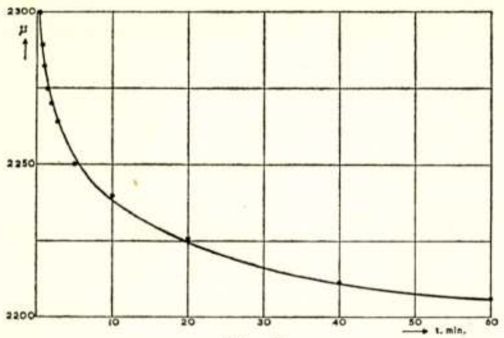


Fig. 3

De afname van de beginpermeabiliteit gedurende de eerste 60 minuten na demagnetiseren.

De permeabiliteitsvermindering bij ferrieten van goede kwaliteit bedraagt enkele procenten gemeten over lange tijd. De moderne filtertechniek vraagt echter stabiliteiten van 0,1 % en minder, waardoor de toelaatbare effectieve permeabiliteit ten hoogste 15% van de beginpermeabiliteit kan zijn.

Bovendien wordt deze stabiliteit gevraagd in spoelen met kleine volumes welke slechts gerealiseerd kunnen worden wanneer er gewerkt mag worden met hoge waarden van de μ_e.

Het is daarom begrijpelijk dat allerwege grote aandacht bestaat voor verlaging van de desaccommodatie en men mag verwachten, dat in de komende jaren hierin ongetwijfeld vooruitgang geboekt zal worden.

De temperatuurscoëfficient van het ferriet is genoemd als de tweede faktor welke bepalend is voor stabiliteit van een LC-filter.

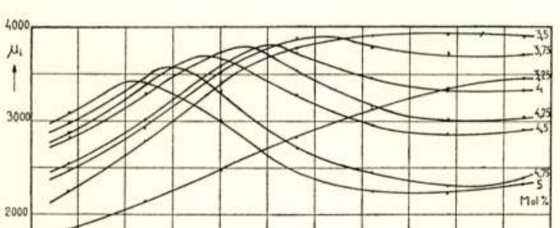


Fig. 4

De beginpermeabiliteit als functie van de temperatuur voor een reeks mangaan-zink-ferro-ferrieten met als parameter het mol % percentage ferro-ferriet.

Van de zelfinductie in een filter wordt een zodanige temperatuurcoëfficient gevraagd, dat deze de temperatuurdrift van de condensator in het filter compenseert.

Hieruit volgt als eerste eis dat de

temperatuurcoëfficient van het ferriet aangepast is aan die van de gebruikte condensator. Het is mogelijk ferrieten te realiseren met geheel verschillende temperatuurcoëfficienten variërend van sterk positief naar sterk negatief in het gebied rond kamertemperatuur (zie figuur 4).

Als tweede eis moet gesteld worden dat de tolerantie op de temperatuurcoëfficient klein is.

Wanneer de spreiding groot is dan zal de aanpassing van zelfinductie aan condensator slecht zijn, waardoor de effectieve permeabiliteit μ_e lager gekozen moet worden.

De tolerantie op de temperatuursfactor $\frac{\triangle \mu_i}{\mu_i^2 \triangle T}$ bedraagt op het ogenblik $\pm 5.10^{-7}$.

Men mag aannemen, dat deze tolerantie bij verbeterde produktietechnieken kleiner zal worden.

Transformatoren.

Bij transformatoren voor laag vermogen zijn de belangrijkste eisen welke aan de ferrieten gesteld worden:

een hoge beginpermeabiliteit
lage verliezen

De waarde van de beginpermeabiliteit is bepalend voor de frequentie karakteristiek, welke men in een transformator met bepaald volume kan realiseren. Hoe hoger de beginpermeabiliteit des te beter zal de frequentie-karakteristiek zijn.

De verliezen bepalen de demping in de transformator. Voor de verliezen geldt hier in grote lijnen hetzelfde wat gezegd is bij de ferrieten voor toepassingen in spoelen, met uitzondering voor de hysteresisverliezen in die toepassingen waar men eisen stelt aan de toelaatbare vervorming.

Het compromis tussen beide eisen leidt hier dan ook tot het ontstaan van een soortgelijke reeks ferrieten als afgebeeld in fig. 2.

Aan de zijde der lage frequenties moet het ferriet concurreren met *NiFe*-bandkernen. De demping, welke men nog toelaatbaar acht, bepaalt de frequentie tot waar *NiFe* bandkernen gebruikt kunnen worden.

In het algemeen kan men zeggen, dat beneden 3 kHz *NiFe* gebruikt wordt en boven 10 kHz ferriet. De materiaalkeuze voor de tussenliggende frequenties wordt bepaald door de toelaatbare demping, de prijs, de bewikkelbaarheid etc.

Wij mogen echter verwachten, dat in de komende jaren ferrieten met hogere beginpermeabiliteiten gerealiseerd zullen worden in massafabricage, waardoor de laagste frequentie, vanwaar af de ferrieten gebruikt zullen worden, zal verschuiven naar de ondergrens van het audiogebied.

De meest verbreide toepassing van ferrieten in transformatoren voor hogere vermogens is de lijntransformator in televisietoestellen. De eisen welke de gebruiker aan deze materialen stelt zijn:

lage verliezen
een hoge amplitude permeabiliteit μ_a
een hoge verzadiging

De verliezen worden hier vrijwel geheel bepaald door de hysteresisverliezen. Lagere verliezen moeten voor deze toepassing dus op de eerste plaats bereikt worden door verlaging van de coercitiefkracht.

De theoretische ondergrens van de coercitiefkracht is vele malen lager dan de waarde welke de coercitiefkracht heeft in de ferrieten, thans gebruikt voor lijntransformatoren.

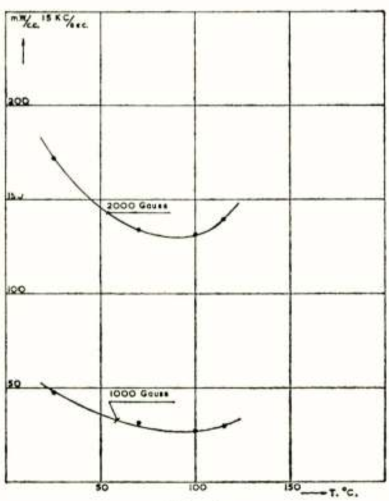


Fig. 5.

De verliezen in mW/cm³ van een mangaan-zink-ferriet voor lijntransformatoren als functie van de temperatuur. Deze verliezen zijn gemeten bij 16 kHz met een inductieverandering in het ferriet per cyclus van resp. + 2000 tot — 2000 Gauss en + 1000 tot — 1000 Gauss t.o.v. het middelpunt der hysteresiskromme.

Derhalve zijn hier nog belangrijke verbeteringen mogelijk wanneer men de keramische processen, welke bij de vorming van ferrieten een rol spelen, beter onder controle heeft.

Om de amplitude-permeabiliteit te verhogen zal men ook de coercitiefkracht moeten verlagen, zodat de beide eerstgenoemde eisen, waaraan het ferriet voor de lijntransformatoren moeten voldoen, dezelfde actie van de materiaalontwikkelaar vragen.

Als derde eis is genoemd een hoge verzadiging. Op theoretische gronden mogen wij voor de bestaande ferrieten

geen verhoging van de verzadiging verwachten. De lijntransformator is een mooi voorbeeld van de mogelijkheden, welke ferrieten bieden om aan de functionele eisen van de gebruikers tegemoet te komen. Door de energie-dissipatie in de lijntransformator kan de temperatuur ervan stijgen tot ca 100° C of hoger. Naast de reeds genoemde eis van lagere verliezen werd enige jaren geleden ook de wens geuit over een materiaal te beschikken met een negatieve temperatuurcoëfficient van de verliezen, zodat de dissipatie met stijgende temperatuur zou afnemen. Het is mogelijk gebleken een ferriet te ontwikkelen met een sterk negatieve temperatuurscoëfficient van de verliezen (zie fig. 5).

2.2 *Ferrieten voor geheugens en logische schakelingen.*

De ferrietkernen voor de z.g. coincidentiegeheugens zijn tot heden het belangrijkste deel van dit zich snel uitbreidende toepassingsgebied.

Deze kernen hebben een rechthoekige hysteresislus, waardoor de positieve en negatieve remanentie zeer stabiel zijn (figuur 6). Van deze twee stabiele toestanden, de o resp. de 1, wordt gebruik gemaakt in de digitale rekenmachine.

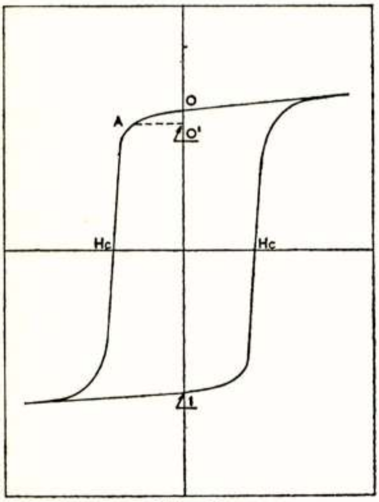


Fig. 6
Een karakteristieke hysteresiskrom- van een ferriet met rechthoekige hysteresislus.

Het verband tussen de factoren, welke bij het omschakelen van de ene toestand naar de andere een rol spelen is weergegeven in formule (5)

$$(H - H_c)\, t_s = S \qquad (5)$$

In deze formule is H het veld dat de kern omschakelt, H_c de coercitief kracht van de kern, t_s de schakeltijd en S een materiaalconstante die de schakelcoëfficient genoemd wordt.

Uit formule 4 blijkt, dat de kern sneller omgeschakeld kan worden naarmate het magnetisch veld H groter is. Deze mogelijkheid om door een groot magnetisch veld de kern snel te laten schakelen is niet aanwezig in een geheugen dat werkt volgens de coincidentiemethode. Hierbij

wordt het veld, dat zorgt voor het omschakelen, veroorzaakt door twee stroompulsen, die door de X en door de Y draad naar de om te schakelen kern gevoerd worden.

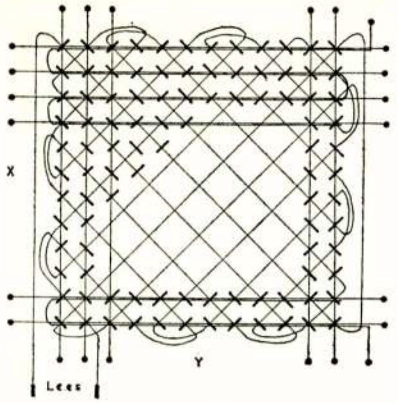


Fig. 7
Een schematische weergave van een matrix met ferrietkernen. In de figuur zijn aangegeven de horizontale X-draad, de verticale Y-draad, en de leesdraad.

Het principe van een coincidentiegeheugen is weergegeven in figuur 7. Deze z.g. halve stroompuls op de X of de Y draad mag de kern niet omschakelen, de som van beide halve pulsen moet dit wel doen.

Hieruit volgt, dat bij coincidentiegeheugens de sterkte van het schakelveld begrensd wordt door de coercitiefkracht van de kern. Daarom worden materialen met een relatief hoge coercitiefkracht gebruikt voor kernen welke met grote snelheid omgeschakeld moeten kunnen worden.

De verhoging van de coercitiefkracht maakt de besturing van de kernen kostbaarder door de hogere stromen, welke daarvoor nodig zijn.

Dit nadeel kan overwonnen worden door kernen met zeer kleine afmetingen te gebruiken in die gevallen, waar een hoge schakelsnelheid geeist wordt.

In de onderstaande tabel wordt een overzicht gegeven van deze ontwikkeling gedurende de laatste jaren. In deze tabel is het verband weergegeven tussen de stuurstroom I_s in mA, nodig om de kern om te schakelen, de schakeltijd t_s in microseconden en de kerndiameter d in mm.

	1957	1959	1961
I_s	670	450	
t_s	1,5	1,0	
d	2,00	1,25	
I_s		1050	590
t_s		0,4	0,4
d		1,25	0,75

Deze ontwikkeling zet zich ongetwijfeld nog verder voort, daar het mogelijk blijkt steeds kleinere kernen in een geheugen in te vlechten. Bij deze kernen met hoge coercitiefkracht is de energie, welke per cyclus in de kern gedissipeerd wordt, groot, waardoor de temperatuur ervan kan stijgen tot waarden hoger dan 100° C, wanneer zij vele cycli achter elkaar moeten doorlopen.

Het geheugen van een snelle rekenmachine moet dan ook gekoeld worden, omdat de kernen bij temp. hoger dan ca. 60° C niet goed meer functioneren. Om dit bezwaar te ondervangen wordt in verschillende laboratoria gewerkt aan de ontwikkeling van kernen, welke over een groter temperatuurgebied bruikbaar zijn. De vooruitzichten zijn gunstig, kernen, welke tot temperaturen boven 100° C. gebruikt kunnen worden, zullen spoedig beschikbaar zijn.

In coincidentiegeheugens worden hoge eisen gesteld aan de rechthoekigheid van de hysteresiskromme van de kern, omdat de stroompuls op de X of op de Y draad alleen de magnetisatietoestand van de kern niet veranderen. Dit volgt uit figuur 6, waarin punt A op de hysteresiskromme de toestand aangeeft waarin de kern gebracht wordt door de halve stroompuls.

Na het einde van deze halve stroompuls keert de kern niet meer terug naar de toestand o, maar naar een lager gelegen toestand o′.

Het verschil tussen o en o′ wordt bepaald door de rechthoekigheid van de hysteresiskromme. De hysteresiskromme van de beschikbare kernen is voldoende rechthoekig voor de eisen die in coincidentiegeheugens gesteld worden.

Geheugens gebaseerd op het coincidentie principe hebben de meest eenvoudige besturing, de snelheid is echter beperkt. Daarom wordt de laatste tijd veel aandacht besteed aan snellere systemen, welke niet op het coincidentieprincipe gebaseerd zijn. Als voorbeelden hiervan kunnen genoemd worden het z.g. Partial Switching systeem [9] en de filmgeheugens [10]. De toepassing van deze systemen zal beperkt blijven tot die gebieden waar de hoge snelheden functioneel noodzakelijk zijn, omdat de besturing kostbaarder is dan die van geheugens volgens het coincidentie principe.

De toepassingsgebieden van de verschillende systemen zou men als volgt kunnen samenvatten.

Coincidentiegeheugens met ferrietkernen zijn de beste oplossing voor computers met cyclustijden tot ca 2 μ sec. Voor cyclustijden tussen 2 en 0,5 μ sec zullen geheugens volgens het

partial switching principe gebruikt kunnen worden. Wanneer filmgeheugens ter beschikking komen zullen zij hun belangrijkste toepassingsgebied vinden voor cyclustijden kleiner dan 0,5 μ sec.

In de afgelopen jaren zijn er talrijke publikaties verschenen, vooral in de amerikaanse literatuur, over de z.g meergats-elementen gemaakt van ferrieten voor diverse toepassingen in geheugens en logicaschakelingen.

Een aantal bekende klanken op dit gebied zijn transfluxor, apertureplates, laddics en biax. [11] Geen enkele van deze elementen heeft het tot heden tot een toepassing van betekenis gebracht.

De oorzaak hiervan moet wellicht gezocht worden in het ontbreken van een duidelijk inzicht in de onderlinge koppeling tussen de magnetische flux verschijnselen rond de verschillende gaten, waardoor men met deze elementen in elektronische circuits vaak op onverwachte effecten stuit, die de toepassing vooralsnog niet voldoende betrouwbaar maken.

Er liggen op dit gebied ongetwijfeld nog belangrijke mogelijkheden, die echter door een gezamenlijke inspanning van ferriet- en circuit-specialisten tot ontwikkeling gebracht moeten worden.

2.3. *Magnetostrictieve ferrieten*

Vooral door het werk van van de Burgt [5] op het Natuurkundig Laboratorium van Philips, is het mogelijk gebleken ferrieten te ontwikkelen, die zeer aantrekkelijke eigenschappen hebben zowel voor mechanische filters als voor ultra-akoestische trillers voor hogere vermogens.

De eisen welke beide toepassingen aan het ferriet stellen lopen nogal uiteen.

Voor de mechanische filters wordt op de eerste plaats gevraagd een grote stabiliteit van de resonantie-frequentie en een hoge mechanische kwaliteitsfactor.

De trillers voor hoge vermogens eisen op de eerste plaats een hoog rendement en een groot stralend vermogen per cm^2.

De eisen voor beide toepassingen botsen enigszins met elkaar, daar enerzijds het hoge rendement en het grote stralend vermogen vragen om een keramisch zeer dicht ferriet, terwijl anderzijds het maximum van de mechanische kwaliteitsfactor tot heden bereikt wordt bij ferrieten welke niet geheel dicht zijn. Van der Burgt heeft daarop twee ferrieten ontwikkeld, welke voor

elke toepassing de optimale combinatie der gewenste eigenschappen kunnen geven.

Men kan zich afvragen welke de voordelen zijn van magnetostrictieve ferrieten tegenover de kwartsfilters en de trillers voor hoge vermogens gemaakt van nikkel.

Tegenover de kwartsfilters is het vooral de kostprijs welke spreekt ten voordele van de magnetostrictieve ferrieten.

Bij de trillers voor hogere vermogens zijn de voordelen van de ferrieten vooral gelegen in het hoge rendement en de lage kostprijs.*)

De ferrieten bereiken een rendement van 80 à 90%, nikkel 30 à 40%.

De prijs van een generator voor een installatie met ferriettrillers zal daarom aanzienlijk lager kunnen zijn dan die van een generator voor een installatie met nikkeltrillers die hetzelfde**) vermogen afgeeft.

De keramische trillers hebben echter het nadeel ten opzichte van de metallische trillers, dat de treksterkte van ferrieten lager is.

Het vermogen dat de ferrieten maximaal mogen afgeven bij continu gebruik bedraagt voor de huidige kwaliteit 6 Watt/cm^2 tegenover 20 à 30 Watt/cm^2 voor nikkel. Dit is geen bezwaar voor de toepassing van ferrieten in reinigingsinstallaties, daar de installatie optimaal werkt bij een stralend vermogen van de triller van 3 Watt/cm^2.

De lage breeksterkte van ferrieten maakte het gebruik van ferriettrillers tot heden onmogelijk in die toepassingen waar het ferriet regelmatig trilt in onbelaste toestand, zoals bij ultrasoon boren en lassen.

Door de ontwikkeling van een automatische amplitudebegrenzing met behulp van een piëzo-elektrisch titanaat element is ook dit bezwaar ondervangen. Dit titanaat-element levert een spanning welke een functie is van de deformatie. Het wordt star met de ferriettriller verbonden en zorgt voor de terugkoppeling welke de amplitudebegrenzing mogelijk maakt.

De magnetostrictieve ferrieten zijn nog jong. Verdere verbeteringen, vooral in het maximaal uit te stralen vermogen, behoren ongetwijfeld tot de mogelijkheden. Hierdoor zal de aantrekkelijkheid van de magnetostrictieve ferrieten tegenover andere materialen verder toenemen.

---

*) van de totale installatie.

**) nuttige akoestische.

2.4. *Slotopmerkingen*

Met de toepassingen welke in het voorafgaande besproken zijn, is het gebied der kubische ferrieten geenszins volledig behandeld. Verschillende applicatiegebieden zijn niet beschreven, enerzijds gebieden welke een groot aandeel hebben in de geproduceerde wereldtonnage, zoals de afbuigspoelen, de lijndeflectiespoelen en de antennestaven, anderzijds gebieden welke in geproduceerd gewicht onbetekenend zijn, maar die toch van uitzonderlijk belang zijn door de onmisbare functies welke ferrieten daarin vervullen, zoals b.v. het gebied der microgolftechnieken.

Als aanvulling op deze voordracht zou de schrijver dezes willen verwijzen naar een overzichtsartikel [12] van een Duitse collega, waarin hoofdzakelijk dit laatst genoemde toepassingsgebied besproken wordt.

Literatuur

1) J. L. Snoek, New Developments in Ferromagnetic Materials, Elsevier, Amsterdam 1947.
2) W. N. Papian, Proc. Inst. Radio Engineers 40, 475, 1952.
E. Albers Schoenberg, J. Appl. Phys. 25, 152, 1954.
3) H. P. H. Wijn, E. W. Gorter, C. J. Esveldt, P. Geldermans, Philips Techn. Tijdschrift.
4) D. Polder, Phil. Mag. 40, 99, 1949.
H. G. Beljers, J. L. Snoek, Phys. Techn. Tijdschrift 1949/50.
C. L. Hogan, Bell System Techn. Journal 31, 1, 1952.
5) C. M. v. d. Burgt, Philips Research Reports 8, 91-132, 1953.
C. M. v. d. Burgt, Matronics nr. 15, p. 273-304, sept. 1958.
C. M. v. d. Burgt, Electr. Technology, Vol. 37, p. 330-341, sept. 1960.
Y. Kihuchi, Sci Rep. R.I.T.U.B. Vol. B7, 1-7, 9-15, 171-178, 1955.
I. P. Golyamina, Sov. Phys. acoustics 6, nr. 3, 311-320, 1961.
6) J. J. Went, G. W. Rathenau, E. W. Gorter, G. W. van Oosterhout, Philips Technisch Tijdschrift nr. 13, p. 194, 1952.
G. W. Rathenau, H. Smit en A. Stuyts, Z. für Physik 133, 250, 1952.
7) G. H. Jonker, H. P. J. Wijn, P. B. Braun, Philips Techn. Rev. 18, p. 145, 1956.
8) R. Aleonard, J. C. Barbier, R. Pauthenet, Comp. Rend. 242, p. 2531, 1956.
9) R. H. Tancrell, R. E. McMahon, J. Appl. Phys., May 1960.
C. J. Quartly, Electronic Engineering, Dec. 1959.
10) A. V. Pohm, E. N. Mitchell, I.R.E. Transaction on electronic computers, Sept. 1960.
11) J. A. Rajchman and A. W. Lo, RCA Rev. Vol. XVI, p. 303-311, 1955.
H. W. Abbot, J. J. Suran, Proc. of the IRE, p. 1081, 1957.
S. E. en C. L. Wanless, IRE Wescon Convention Record, August 1959.
W. F. Gianola, Bell System Technical Journal, March 1960.
12) H. Severin, Elektronische Rundschau, nr. 6. 1961.

Als aanvulling op dit literatuuroverzicht zij vermeld, dat een samenvattend boekwerk over ferrieten is verschenen in de Philips Technische Bibliotheek, getiteld „Ferrieten" door J. Smit en H. P. J. Wijn.

Manuscript ontvangen 22 februari 1962.

Kwaliteitsbeleid in de groep Keramische Produkten

door H. van der Weiden *)

1. Kwaliteitsinterpretatie.

Er zijn drie belangrijke factoren, die van invloed zijn op de historische ontwikkeling van de kwaliteitseisen aan onderdelen:

1. *Miniaturisatie.*

In figuur 1 wordt getoond hoe in de loop van de tijd de afmetingen van gelijkwaardige elektronenbuizen en transistoren zijn afgenomen.

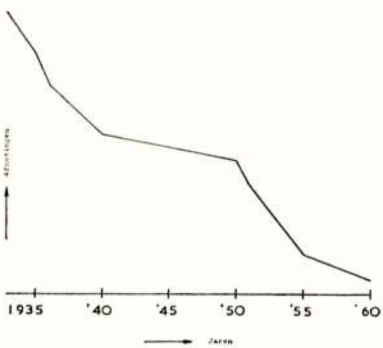


Fig. 1
Verloop van de hoofdafmetingen van gelijkwaardige elektronenbuizen en transistoren tussen 1935 en 1960.

Het is duidelijk, dat dit als consequentie inhoudt, dat, als alle maten kleiner worden en de functies van de onderdelen dezelfde blijven, in het algemeen de toleranties in procenten uitgedrukt, gelijk kunnen blijven.

Procentueel gelijke toleranties op steeds kleiner wordende maten betekenen steeds kleinere absolute toleranties. Dit impliceert een grotere nauwkeurigheid van de machines en een veel nauwkeuriger meetapparatuur dan voorheen.

2. *De mechanisatiegraad.*

We zien overal machines ontstaan, die meer produkten met lagere kosten en in veel kortere tijd maken. Mechanisatie heeft veel voordelen, maar heeft echter als nadeel in het kwaliteitsbeleid, dat er minder flexibiliteit is in de applicatie.

Vroeger kon men nog weleens een produkt met kleine afwijkingen, zoals scheve aansluitdraden, aanbieden.

*) N.V. Philips Gloeilampenfabrieken, Eindhoven.

Met de hand kon dat evengoed gemonteerd worden en dit gaf geen moeilijkheden. Nu de mens uitgeschakeld wordt en de meer starre machine ervoor in de plaats komt, kan men grote moeilijkheden krijgen, omdat produkten, die vroeger zonder meer acceptabel waren, dit nu niet meer zijn. Als voorbeeld zij genoemd het automatisch monteren in een printraster. Vroeger kon men de aansluitdraden in iedere willekeurige richting afleveren, nu is het wel degelijk nodig, dat ze in een speciale richting voorgebogen, op de juiste afstand en lengte, worden afgeleverd.

3. *Het aantal produkten per apparaat.*

De apparatuur wordt steeds ingewikkelder. We denken b.v. aan de rekenmachines met geheugens. Hierin zitten honderdduizenden onderdelen hetgeen tot gevolg heeft, dat de afzonderlijke onderdelen veel minder kans van storing en uitval mogen geven.

Als analogie: We weten, dat men in een loterij de kans om te winnen kan vergroten door meer loten te nemen.

Zo is het ook bij een radio- of TV-apparaat. In een TV-apparaat zitten veel gelijke onderdelen, waardoor de kans op fouten wordt vergroot. Daarom kunnen we niet meer met de oude uitvalpercentages werken. Waren er vroeger 5 gelijke onderdelen, dan kon men bijvoorbeeld afleveren met een uitvalpercentage van maximaal 1%.

Het is eenvoudig te berekenen, dat ongeveer 1 op de 20 apparaten door dat onderdeel zou kunnen uitvallen in de contrôle om daarna gerepareerd te worden.

Nu er op het ogenblik in een TV-apparaat circa 200 gelijke onderdelen zitten, is het bijna onmogelijk om met 1% uitval in die onderdelen daarvan een goed apparaat te bouwen.

Er is bovendien nog een nieuwe ontwikkeling aan de gang. Momenteel wordt apparatuur gemaakt waarvan eventuele stagnatie enorme schade kan veroorzaken. Als een radio uitvalt is dat wel erg, maar niet onoverkomelijk. Bij de geleide projektielen en de geheugens, die opgesteld worden om ingewikkelde berekeningen (boekingen voor vliegtuigen etc.) te doen, is de zaak echter niet zo eenvoudig. Wanneer daar een onderdeel uitvalt, ontstaat een schade, die meestal een veel grotere omvang heeft dan vroeger bij die radio het geval was.

Een nieuwe eis komt dan ook hieruit naar voren: RELIABILITY (= betrouwbaarheid).

Samenvattende ontstaat er een vraag naar onderdelen van

grotere nauwkeurigheid d.w.z. die een nauwere tolerantie hebben en waarvan over steeds langere tijd minder afwijkingen in de eigenschappen mogen optreden.

2. **Kwaliteitsspecificatie.**

Het is van het grootste belang bij de verschuivende kwaliteitseisen, waarbij de eisen van bijvoorbeeld 5 jaar geleden niet meer gelden, een indruk te krijgen van de eigenschappen van een produkt, die interessant zijn om vast te leggen, m.a.w. wat moeten we kwaliteit noemen?

Welke terugkoppeling moet er plaats vinden van de afnemer naar de leverancier en welke eisen moeten er gesteld worden aan het produkt?

Een mooie illustratie hiervan geeft figuur nr. 2, overgenomen uit de publikatie van de heer Belbin*). Deze geeft ons uit praktijkgegevens een verrassend inzicht in deze materie.

In de verticale richting staan verschillende uitvalsoorten uitgezet en wel in volgorde van grootte. Rechts zien we het in de eindcontrôle afgekeurde percentage. Het blijkt, dat de bovenste uitvalsoort het meest is aangetroffen in de eindcontrôle en ook het meest is afgekeurd, n.l. 30%. Wanneer hier 30% staat, wil dat niet zeggen, dat 30% van de produkten is afgekeurd, maar wel, dat 30% van het aantal partijen in de eindcontrôle een hoger dan toelaatbaar uitvalpercentage had.

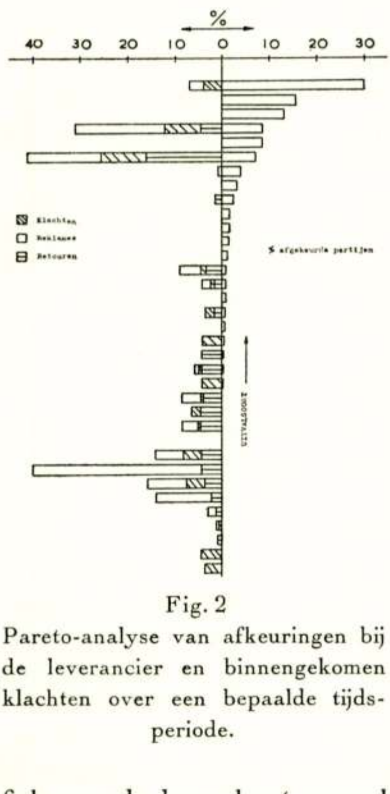


Fig. 2
Pareto-analyse van afkeuringen bij de leverancier en binnengekomen klachten over een bepaalde tijdsperiode.

We zien, dat de in de grafiek aan de bovenkant vermeld staande uitvalsoorten het meest voorgekomen zijn en deze partijen het meest tegengehouden en uitgesorteerd zijn. Verder zien we naar beneden gaande, dat andere uitvalsoorten steeds minder vaak ontdekt werden.

*) R. M. Belbin: New Fields for Quality Control. British Management Review 13e Jaargang 1957.

Gaan we nu dit beeld van de fabrikant vergelijken met het beeld, dat de afnemer heeft en dat in de linkerzijde van de grafiek is uitgebeeld, dan zien we dat hier geen goede correlatie bestaat. Het blijkt o.a. dat produkten, die bij de fabrikant al veel moeilijkheden hebben gegeven, bij de afnemer veel uitval opleveren. Ook waren produkten, die geen moeilijkheden gaven in de fabriek soms aanleiding tot bijzonder veel retouren. Een situatie, die — als we er ons goed op bezinnen — in eigen bedrijf nog veel te vaak wordt aangetroffen.

De juiste afstemming van wat de afnemer wil hebben en de fabrikant dus moet leveren, is in vele gevallen niet volmaakt. Er was een anekdote bij dit verhaal van de heer Belbin, die vertelde, dat een Amerikaan, die snel Engeland "deed" en maar één dag beschikbaar had, zijn toeleverancier opzocht en hem vroeg het bedrijf te mogen zien. Hij zag daar op een gegeven moment bij de eindcontrôle een grote bak produkten staan, waarvan hij zei: „Dat zijn nu echt de ideale produkten. Waarom levert u me die niet?" Hierop werd hem medegedeeld, dat dit nu juist de uitvalbak was. Hier was dus kennelijk geen goede afstemming.

Zo had in ons keramische bedrijf op zeker moment 80% van de klachten betrekking op afsplinteringen, terwijl de fabriek maar zeer weinig op afsplinteringen afkeurde. Hoewel er veel klachten binnenkwamen werden deze niet au sérieux genomen. In de fabriek was bekend, dat deze afsplinteringen op functionele gronden niet belangrijk waren. Echter hebben we ons moeten richten naar de algemene opinie van de afnemers, die erop stonden, dat deze produkten een goed uiterlijk hadden en dus geen afsplinteringen mochten vertonen.

Wanneer eenmaal bekend is welke uitvalsoorten en welke eigenschappen interessant zijn om in de kwaliteitsspecificatie opgenomen te worden, dan moeten we ons erop gaan bezinnen wat de kosten zijn. Men kan natuurlijk wel steeds hogere kwaliteit eisen, maar dit brengt enorme kosten met zich mee.

De beste produkten zijn erg duur en de slechtste goedkoop, maar hier tussenin ligt een kwaliteit, die ons in economisch opzicht het meest bevredigt. E.e.a. wordt geïllustreerd in de grafiek van Zolliköfer*) uit 1951 (fig. 3). Deze is opgesteld voor metalen asjes, bewerkt op een draaibank, waarbij Zolliköfer de verschillende passingen, dus toleranties, vergeleken heeft

---

*) Otto Zolliköfer: Qualität und Kosten. Industrielle Organisation 20e Jaargang 1951 nr. 1.

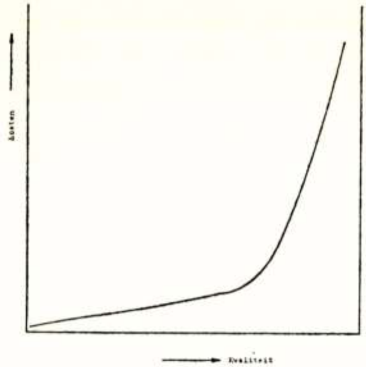


Fig. 3
Verband tussen kwaliteit en kosten.

met de kosten, nodig om die toleranties te bereiken. Aanvankelijk zien wij een vrij zwakke toeneming van de kosten, afhankelijk van de kwaliteit. Op een gegeven moment komt er een ander aspect naar voren wanneer men geen gebruik meer kan maken van de universele draaibanken en men speciale instrumentenbanken moet laten ontwerpen.

Deze instrumentenbanken zijn erg duur, omdat ze een groot aandeel moeten dragen van de ontwikkelkosten, daar het om enkele exemplaren gaat. Wanneer men nog betere kwaliteit wil dan deze banken kunnen leveren, stijgen de kosten nog meer. De spreiding tussen de artikelen, die de bank levert is dan groter dan de tolerantie, die gewenst is.

De eenvoudigste manier om dan toch nog een oplossing te vinden is in dit geval uitsorteren. De contrôle- en sorteerkosten bij het uitsorteren doen de lijn hier verder stijgen.

De grafiek toont dat het gevaarlijk is om rechts van de knik te gaan zitten. Links van de knik doet het er nog niet zoveel toe als we een iets te hoge kwaliteit eisen, maar rechts ervan krijgen we zelfs last, omdat het meteen zijn terugslag vindt op de kosten, die er aan verbonden zijn.

Het is nog weleens moeilijk om, als men tot overeenstemming gekomen is over de af te leveren kwaliteit, dit op een eenvoudige manier vast te leggen. Als voorbeeld bespreken we hier aan de hand van figuur 4a een koolweerstand. Deze bestaat uit een staafje keramiek, dat getrommeld wordt, zodat er ronde kanten aan komen. Op de uiteinden ervan worden twee dopjes met aansluitdraden gedrukt en het geheel is nog even tevoren van een koollaagje voorzien en vervolgens afgewerkt.

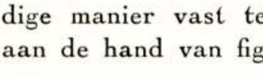


Fig. 4a
Koolweerstand.

Een moeilijkheid hierbij is, dat men op de een of andere manier zekerheid wil hebben, dat dit dopje met een bepaalde tolerantie op diameter op het staafje gedrukt kan worden.

Men kan zich voorstellen, dat, als dit staafje te weinig facet heeft, het dopje daar niet glad overheen kan en te gauw kapot

stuit of scheef gaat zitten. Als het facet te groot is houdt het dopje niet en valt er af.

Een meetmethode hiervoor bestaat daaruit, dat twee bekken van een micrometer worden afgesteld op de maximale waarde voor de diameter (figuur 4b) van de dop. Hier steken we het staafje in en meten hoe diep het erin gaat. Er is een correlatie gevonden tussen deze gevonden maat en de passing met het dopje.

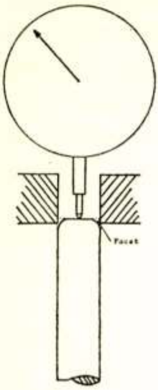


Fig. 4b
Meetmethode
voor facet.

Toch bleven steeds moeilijkheden bestaan met dit produkt. Van de drie eisen aan het product gesteld, waren er meestal 2 die voldeden (terwijl de derde onbevredigend was). De genoemde eisen zijn achtereenvolgens: de diameter, het facet, en de ruwheid van het oppervlak, nodig voor het opdampen van de koollaag.

3. **Een procesanalyse.**

Met een vast tijdsinterval werden uit de trommel, waarin de producten getrommeld werden achtereenvolgens steekproeven genomen, die naar de afnemer werden gezonden.

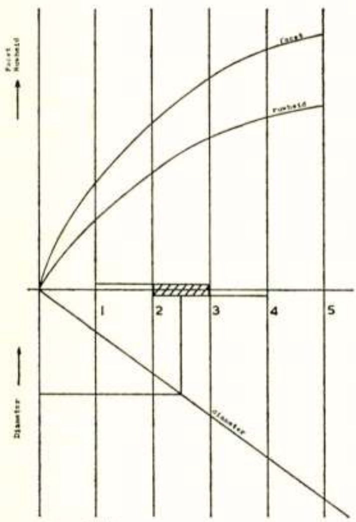


Fig. 5
Procesanalyse voor trommeltijden.
Opgedampte weerstanddrager.

Dit waren in totaal 5 verschillende steekproeven, alle met verschillende trommeltijden. Volgens de afnemer waren de facetten van de steekproeven, getrommeld tussen de tijden 1 en en 3 goed en aan de ruwheidseisen werd voldaan tussen de trommeltijden 2 en 4. Uit figuur nr 5 blijkt, dat in feite alleen de, in de gearceerde periode getrommelde producten, zowel aan ruwheid als aan facet-grootte voldeden.

Deze trommeltijden gelden slechts voor deze proef. De verschillende charges van hetzelfde materiaalrecept zijn n.l. onderling verschillend in hardheid, wat tot gevolg heeft, dat ook de afname in een trommel voor verschillende charges niet van tevoren te voorspellen is.

We wilden het gebied, waarin aan alle eisen wordt voldaan, groter maken. Ideaal zou zijn als de tolerantiegrenzen op de trommeltijden voor facetgrootte en ruwheid zouden samenvallen. Dit werd bereikt door de vulling van de trommel te veranderen. Als men n.l. als slijpmedium grote kiezels kiest, krijgt men wel facet doch geen ruwheidsafname. Brengt men er fijn slijpend poeder in, dan krijgt men meer ruwheidsafname dan facet.

Tussen deze twee uitersten ligt de juiste korrelgrootte en door deze te bepalen was het mogelijk de toleranties voor ruwheid en facet te laten samenvallen.

Ook werd bij deze proeven tegelijkertijd gekeken naar de grootte van de vulling en het bleek, dat een grotere vulling per trommel betere resultaten gaf.

Ook was het eenvoudig, de afname van de diameter te bepalen in de loop van de tijd, zie figuur nr. 5.

Het onderzoek had tengevolge, dat het gebied, waarin aan alle eisen werd voldaan, groter was geworden.

Hierdoor werd het mogelijk zich te beperken tot de bepaling van de afname van de diameter per charge en kon men hieruit de trommeltijd berekenen, nodig om zowel facet, ruwheid als diameter, binnen de toleranties te doen vallen.

Het bepalen van de trommeltijd per charge vond als volgt plaats. Na 3/4 van de geschatte trommeltijd werd gestopt en aan de hand van een steekproef bepaald in hoeverre de vereiste facetgrootte, diameter en ruwheid reeds aanwezig waren. Aan de hand van deze steekproef was dus te bepalen, hoe lang nog getrommeld moest worden.

Een aardig neveneffect bij dit onderzoek is, dat het inzicht in de wezenlijke technologie van deze fabrikage verdiept werd. Door de met een dergelijk onderzoek gepaard gaande verdieping van het inzicht in de technologie, is het mogelijk in de toekomst de toleranties van een produkt te verkleinen. Om deze redenen is het lonend, om ook nu al ons inzicht te gaan verdiepen in produkten, die vandaag nog op een bevredigende manier gemaakt kunnen worden, omdat morgen de eisen wellicht weer hoger zijn.

4. **Subjectieve eisen.**

De hiervoor besproken eisen behoren min of meer tot de objectief meetbare eisen. We hebben soms ook te maken met subjectieve kwaliteitseisen. We meldden reeds, dat 80% van de

binnengekomen reclames en klachten betrekking had op afsplinteringen.

Op twee manieren is getracht dit probleem op te lossen:

1. Het juist vastleggen van wat toelaatbaar is.
2. Het voorkomen van de afsplinteringen in de fabrikage.

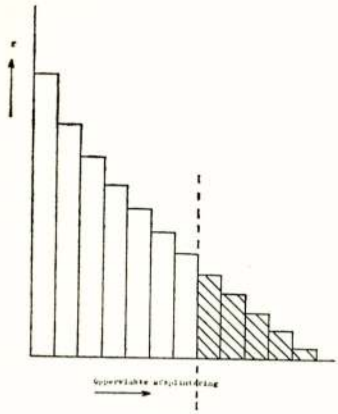


Fig. 6
Uitvalconsequenties van subjectieve kwaliteitseisen.

(Sub 1) In grafiek 6 zijn de af splinteringen in verschillende klassen ingedeeld. Aan de hand van deze grafiek kunnen we tot overeenstemming komen met de afnemer. Deze kan opgeven wat hij toelaatbaar vindt, maar hij moet wel bedenken, dat de produkten met grotere afsplinteringen als uitval gelden en dat hij deze uitval uiteindelijk moet betalen.

De gevolgen van een hogere eis zullen de afnemer aan de hand van deze grafiek duidelijk worden, waardoor hij in het algemeen eerder tot een compromis zal komen met de fabrikant.

Daar we met veel produktie centra en veel afnemers te maken hebben, is het moeilijk een voldoend groot aantal identieke grensmonsters als monster uit de produktie te zoeken. Daarom werd besloten één produkt vast te leggen als een gouden standaard en daar foto's van te maken. Deze foto's gaven nog weleens interpretatiemoeilijkheden, omdat de diepte van de afsplintering ook belangrijk is. Daarom zijn stereofoto's gemaakt en stereoviewers verspreid. Hiermede lag de zaak goed vasten waren de moeilijkheden opgelost.

Hoewel men de stereoviewer wel niet dagelijks zal gebruiken, is het niet meer mogelijk met z.g. elastische grenzen te werken, waar, bij een lage opbrengst meer wordt doorgelaten en bij veel klachten plotseling te streng wordt gekeurd. Deze grens was dus niet meer voor verschillende interpretaties vatbaar.

(Sub 2) Een andere mogelijke oplossing voor het probleem van de afsplinteringen was een zodanige verandering in de fabrikage, dat de kans op afsplinteringen geringer werd. De ervaring leerde, dat deze produkten niet duurder werden door de kwaliteit te verbeteren.

Vroeger had men 8% uitval door afsplinteringen, o.a. door

ruwe behandeling in de fabricage. Een en ander werd verbeterd door gebruik te maken van kalibers met nylonentree en mallen bij het slijpen, zodat de produkten niet meer tegen elkaar konden aanslaan op de slijpmachine en verder door uitbreiding van het toezichthoudend personeel.

Dit alles heeft tot gevolg gehad, dat op het ogenblik nog $^1/_2$% uitval optreedt op afsplinteringen. Hier gaan als gevolg dus minder uitval en betere kwaliteit samen.

Uit de praktijk bleek, dat het bij alle subjectieve eisen moeilijk was met één grens te werken, daarom werd een twijfelgebied ingevoerd, dat uit de aard der zaak zo klein mogelijk moest zijn. Men kan het gemakkelijk eens worden over produkten, die zonder meer goed zijn; alle betere produkten zijn ook goed (0-grens). Men kan het ook gemakkelijk eens worden over produkten, die niet acceptabel zijn en alle slechtere dienen eveneens te worden afgekeurd. (X-grens). Ertussen ligt het twijfelgebied (zie figuur nr. *7*).

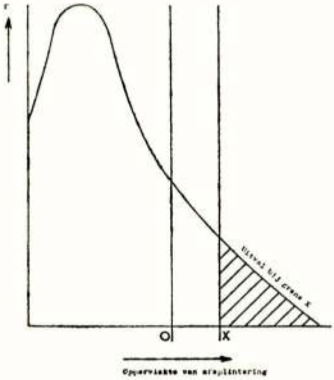


Fig. *7*
Vastleggen van moeilijk meetbare kwaliteitseisen.

De leverancier houdt zich aan de 0-grens en de afnemer aan de X-grens, zodat, als er een twijfelgeval is, de fabrikant deze in het algemeen af zal keuren en de afnemer niet zal gaan reklameren als er een enkele twijfelaar in de partij zit, want beiden zijn ervan overtuigd, dat producten, die precies op de grens liggen door ~ 50% van de controleurs goed bevonden en door de andere ~ 50% afgekeurd zal worden.

5. **Meetmethodiek.**

Men is er nog niet, als men alleen vastlegt wat een kwaliteits-eigenschap is en als men ook de toleranties vastlegt, want het blijkt dat ook de meetmethode zeer belangrijk is.

Figuur nr. 8 geeft een voorbeeld van U-kernen, onderdelen van een lijntransformator. Deze U-kernen hebben bepaalde eisen op afmetingen; er moeten spoelen omheen geschoven kunnen worden en de twee geslepen vlakken van de U-kernen moeten gezamenlijk een voldoende doorlaat hebben voor de krachtlijnen. Deze eis kan worden vertaald in een tolerantie op de dikte van

de benen en op de afstand tussen de benen. We bekijken alleen de laatstgenoemde twee maten.

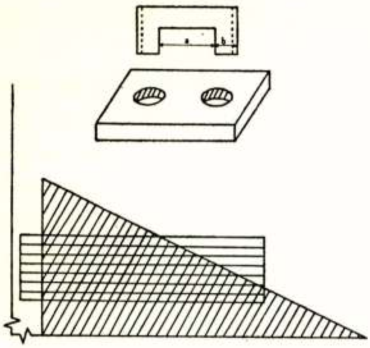


Fig. 8
Consequenties van keuringen aan U-kernen met metend gereedschap en met kalibers.
Abscis: afstand tussen de benen (a).
Ordinaat: dikte maat.

In de grafiek staat uitgezet de dikte van en de afstand tussen de benen. Het is duidelijk, dat in het horizontaal gearceerde gebied die producten liggen, welke voldoen aan de tekeningeisen. Elk produkt, dat in het gebied ligt voldoet aan beide toleranties. Elk produkt buiten dit gebied zal dus óf op dikte óf op spreiding uitvallen.

Nu was er een toeleverende fabriek A, die het nogal ingewikkeld vond om deze maten te meten en die probeerde het eenvoudiger te doen. Men redeneerde aldus: Uiteindelijk is elke U-kern goed, die in een blokje met twee gaten past. Dan is de afstand tussen en de dikte van de benen goed.

Daarbij kan de hoogte van de U-kern in één keer gemeten worden door een elektrisch kontakt onder het blokje te plaatsen. Bij gebruik van dit kaliber kwam men op 1/5 van de contrôlekosten. Dit leek zeer aantrekkelijk en werd bij deze fabriek ingevoerd. De maten van het kaliber werden berekend aan de hand van de tekening. Deze fabriek leverde toe aan een andere fabriek van ons concern, B, en soms, afhankelijk van de capaciteit en vraag, leverde de laatste fabriek toe aan de eerste. Er waren steeds moeilijkheden met de U-kernen. Steeds waren er afkeuringen en er ontstond een minder aantrekkelijke correspondentie.

In grafiek nr. 8 is te zien waarom men het niet eens werd. Hier blijkt dat het gebruik van het kaliber impliceert, dat een U-kern met dunne benen een grotere spreiding zal kunnen hebben dan een U-kern met dikke benen. Extreem gesteld: een U-kern, die benen heeft met een dikte gelijk aan de diameter van het gat, heeft dus geen tolerantie meer op de spreiding. Hoe dunner men nu de benen maakt, hoe groter dus de spreidingstolerantie wordt en de schuin gearceerde driehoek in de grafiek geeft aan wat toelaatbaar is volgens het kaliber.

Het is duidelijk, dat de toeleveringen van fabriek A naar fabriek B in het schuin gearceerde gebied door B werden afgekeurd, anderzijds de toeleveringen in het horizontaal gearceerde gebied werden afgekeurd door A. Men was het slechts eens over het horizontaal *en* schuin gearceerde deel.

Het bleek, dat de eindcontrôles en de ingangscontrôles beiden geheel volgens instructie werkten, alleen de instructies waren verschillend. Men had niet ingezien, dat het kaliber wezenlijk iets anders keurde dan de tekening aangaf, omdat men zich niet had gerealiseerd, dat de U-kern die in het kaliber gemeten wordt, op twee eigenschappen tegelijk wordt gekeurd, n.l. èn op dikte èn op spreiding. Een kaliber is altijd bruikbaar als men één eigenschap keurt, maar als men meerdere eigenschappen tegelijk keurt, moet men zeker zijn, dat de eigenschappen goed zijn vertaald in het kaliber, zoals in dit voorbeeld geïllustreerd wordt.

6. Kwaliteitsgaranties.

Bij interne leveringen is het meestal gemakkelijker een oplossing te vinden voor het vastleggen van kwaliteitsgaranties dan bij leveringen aan derden. Figuur 9 geeft een voorbeeld van het verband tussen kosten en doorgeleverde uitvalpercentages aan.

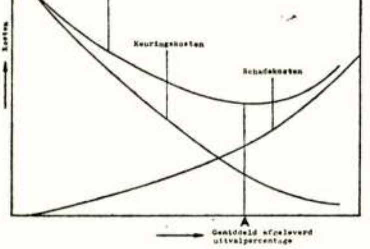


Fig. 9

Verband tussen gemiddeld afgeleverd uitvalspercentage en totale kosten.

Wanneer men het eens is geworden over kwaliteitseisen, dan is er nog een tweede punt, dat besproken moet worden, n.l. het toelaatbare uitvalpercentage. Een afnemer wenst in het algemeen produkten met een bepaalde noemmaat te ontvangen. Hij wenst dus produkten met die maten, die hij noemt en omdat hij weet, dat het moeilijk is om zonder spreiding of met een kleine spreiding te fabriceren, zegt hij erbij: Ik tolereer dat er wat buiten die maat geleverd wordt, maar dan niet meer dan zoveel $^0/_0$ of zoveel tiende, honderdste of duizendste mm buiten de noemmaat. Feitelijk zijn dus op de eerste plaats het gemiddelde en de spreiding van de toegeleverde partijen interessant voor de afnemer. Om deze te bepalen moet men steeds een bereke-

ning maken. Met fabriekmatige mensen geeft dat moeilijkheden en dus hebben we het probleem in twee stukken verdeeld.

We eisen ten eerste, dat de partij in het algemeen tussen de tolerantielijnen moet liggen en ten tweede dat er niet meer dan een van te voren overeengekomen percentage buiten die tolerantie lijnen mag liggen.

Deze methode is gemeengoed geworden, hoewel bekend is, dat vaak zeer goede resultaten worden bereikt met de z.g. statistische kwaliteitsgaranties. Stel dat men het eens is geworden over de eisen en gaat bepalen hoeveel $^0/_0$ er buiten die grenzen mag vallen. Wanneer men binnen één concern overeenstemming wil bereiken tussen leverancier en afnemer, dan is het mogelijk een vrije uitwisseling te krijgen van informatie over kosten, zodat men tot een optimaal resultaat kan komen, zoals in figuur 9 wordt aangetoond.

Voor een bepaald produkt staat het gemiddelde afgeleverde uitvalpercentage in de grafiek aangegeven langs de abscis en de kosten van keuring langs de ordinaat. Hieruit ziet men, dat, hoe groter het gemiddeld doorgeleverde uitvalpercentage is, hoe lager de keuringskosten zijn.

Dit is te berekenen uit ervaringsgegevens over de produktiekwaliteit. Theoretisch is te berekenen hoeveel uitval we zouden doorleveren bij gebruik van bepaalde keuringssystemen. Van een keuringssysteem kennen we de keuringskosten, ontstaan door het nemen van een steekproef, het keuren of afkeuren ervan, eventueel sorteren en de uitgesorteerde partijen weer keuren.

Hierdoor is men in staat de kosten van keuring van het systeem te vergelijken met wat men gemiddeld aan uitval doorlevert.

Uit deze gegevens is de keuringskostenlijn samen te stellen, als functie van de gemiddeld doorgeleverde uitval.

Nu is het interessant om te weten, wat de schade bij de afnemer van die doorgeleverde uitval is. Als men weet hoe groot die schade is, kan men bepalen waar de som van de contrôlekosten en de schade minimaal is en zal men volgens dit gevonden punt dienen af te leveren, om zo economisch mogelijk te werken.

In figuur 9 heeft het probleem betrekking op onderdelen, die in zeer grote aantallen worden gemaakt. Ze worden ingebouwd in sub-assemblies van 2000 stuks. Eén fout produkt betekent, dat uit de sub-assembly van 2000 stuks dit ene gedemonteerd en een nieuw produkt ingebracht moet worden. De sub-assembly moet opnieuw gekeurd worden. Deze reparatiekosten en extra contrôlekosten zijn exact te bepalen.

De schadekostenlijn is niet helemaal recht, omdat uiteindelijk bij erg veel uitval de afnemer niet meer voldoende produkten af kan leveren en speciale maatregelen moet nemen.

Dit heeft tot gevolg, dat dit een progressief stijgende lijn zal zijn. Als we de contrôlekosten-lijn en de schadekosten-lijn sommeren, krijgen we de totale kosten-lijn. Uit deze curve zien we, dat in het punt A de oplossing ligt. Gaat men rechts van dit punt afleveren, dan ziet men, dat de schadekosten meer toenemen dan de contrôlekosten zijn afgenomen. Gaat men links van het optimale punt zitten, dan ziet men dat de contrôlekosten drastisch verhoogd zijn, terwijl de schadekosten maar weinig verlaagd zijn.

In het eerste geval heeft men teveel schade en in het tweede geval geeft men teveel geld uit aan contrôle.

Met deze wetenschap kan men de kostprijs van het produkt zo laag mogelijk houden.

De mogelijkheid tot uitwisseling van informatie is binnen één concern steeds aanwezig. Maar ook is er bij de groeiende Europese integratie een tendens naar een grotere uitwisseling tussen verschillende firma's onderling, zodat het mogelijk zal worden meer tot zulke afspraken tussen derden te komen.

7. De organisatie van het kwaliteitsbeleid.

Het voorbeeld, dat Fayol*) geeft, omschrijft vrij volledig wat organisatie en beleid inhoudt, of dit nu een directeur, een bedrijfsleider of een afdelingschef betreft. (zie figuur 10). Beleid houdt vooruitzien in, het uitstippelen van de algemene richtlijnen, zowel voor kwaliteitsniveau als de organisatie, die voor een doeltreffend kwaliteitsbeleid noodzakelijk is, het organiseren, de zorg, dat men over mensen, materialen en machines kan beschikken, die de opdrachten moeten uitvoeren. Heeft men dit georganiseerd dan moet men zorgen, dat de juiste commando's gegeven worden. De verschillende groepen moeten goed samenwerken, er moet dus wel degelijk iemand boven staan, die ervoor zorg draagt, dat de juiste samenwerking tussen de verschillende mensen plaats heeft. Het laatste punt, dat eigenlijk voor ons allemaal het moeilijkste blijkt te zijn in deze bedrijvige tijd, is, dat men nog tijd moet vinden om te controleren of er inderdaad gebeurt wat men verlangt. Het is duidelijk, dat een directeur

*) J. Henri Fayol: Administration industrielle et générale.

dat niet allemaal zelf kan doen en hij zal dus graag iets uitbesteden. Bij ons is het zo geregeld, dat het vooruitzien en het nagaan of alles wel gebeurd is, dus een soort accountantsverklaring, voor een belangrijk deel zijn ondergebracht bij een instantie, die direct onder de directie valt: het kwaliteits-laboratorium.

De fabriek draagt de verantwoordelijkheid voor het organi-

BELEID VOLGENS FAYOL.

PREVOIR = VOORUITZIEN, UITSTIPPELEN VAN ALGEMENE RICHTLIJNEN

ORGANISER = BOUWEN VAN DE MENSELIJKE EN MATERIELE ORGANISATIE

COMMANDER = DOEN UITVOEREN OVEREENKOMSTIG DE RICHTLIJNEN

COORDINER = ZORG VOOR DE JUISTE SAMENWERKING

CONTRÔLER = NAGAAN OF UITVOERING GESCHIEDT OVEREENKOMSTIG GEGEVEN RICHTLIJNEN

Fig. 10

seren van de productie (het opbouwen van de menselijke en materiële organisatie) en het commanderen, het laten uitvoeren volgens de richtlijnen.

Hoewel alle afdelingen tot taak hebben goed samen te werken, blijft de coördinatie typisch een directietaak en de directeur zal zich hier zelf mee moeten bezighouden.

Het is natuurlijk interessant om eens te kijken hoe in de loop van de tijd de organisatie gegroeid is, omdat we daaraan kunnen zien welke fouten er aan een organisatie kunnen kleven.

Daarom zijn in figuur 11 enige kenmerkende organisatieschema's opgezet.

Om één en ander duidelijk te maken gaan we terug naar de gildentijd. We nemen als voorbeeld een kastenmaker, die o.a. door vakkennis een grote omzet kreeg. Hij moest wel een zeer universeel mens zijn, die wist hoe hij hout moest inkopen en te bewerken, hoe een kast te ontwerpen, de artistieke vormgeving op de juiste manier aan te brengen, de kast te verkopen, boek te houden en er tenslotte nog wat aan over te houden ook.

Op een gegeven moment krijgt hij teveel orders, waardoor hij in afleveringsmoeilijkheden komt. Hij gaat uitbreiden en

neemt gezellen in dienst. Deze gezellen krijgen weer assistenten en gedurende de loop van de tijd zal deze man al zijn assistenten persoonlijk blijven leiden, en de streeplijn in figuur 11a duidt aan, dat de man zijn kwaliteitsoog nog over alles laat gaan.

Als gevolg hiervan wordt echter de organisatie te groot, zodat

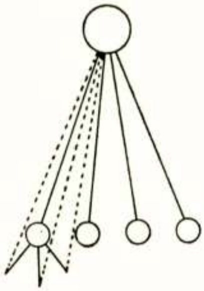


Fig. 11a

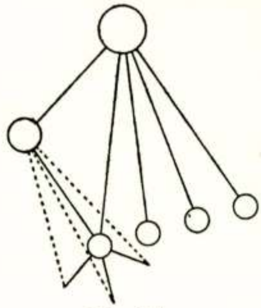


Fig. 11b

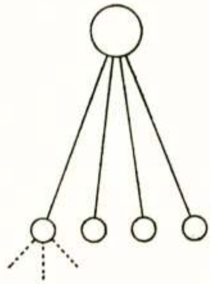


Fig. 11c

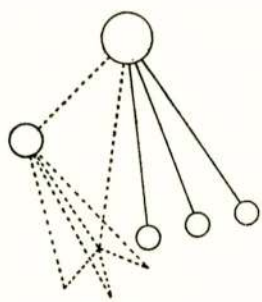


Fig. 11d

Fig. 11
Kenmerkende organisatieschema's.

hij het niet meer aan kan en naar een ander uiterste overslaat. Hij neemt mensen in dienst, die hem een deel van het werk uit handen nemen.

Hij neemt één assistent in dienst voor kwaliteit, één voor de boekhouding, één voor de administratie enz., kortom het wordt een organisatie met diverse deeltaken, maar waarvan hij dus een deel nog samen ook met die assistenten doorneemt. Aan één van die assistenten laat hij bijvoorbeeld het kwaliteitsbeleid over. Dit is een vrij ongezonde situatie, die wij zien bij vele bedrijven. Men krijgt een uitholling van de man, die het werk doet, de fabrikant. Deze begrijpt niet meer waarvoor hij werkt, hij gaat alleen maar op richtlijnen af.

Op deze manier te werken is zeer onbevredigend, ook voor de kwaliteitsfunctionaris. Hij staat ook een beetje buiten de produktie, want hij is alleen maar kwaliteitsman en de fabrikant voelt zich in de produktie niet gelukkig omdat hij niets met kwaliteit te maken heeft. We krijgen hier dus een nieuwe situatie, waar ik b de these en c de antithese zou willen noemen, die in d tot een synthese komen, welke een juiste verdeling van het werk inhoudt.

De directeur geeft een deel van het beleid af, n.l. de routine-contrôle en de fabrikage-eindcontrôle, en wel aan zijn verschillende afdelingschefs en assistenten.

De verantwoordelijkheid voor een ander deel, zoals het vooruitzien, het controleren, de klachten behandeling, het mede-opstellen van specificaties, het doen van vrijgaveonderzoek, draagt het kwaliteits-laboratorium. Dit heeft dus een deeltaak in het stafgebied zoals in figuur 11d te zien is.

Op deze manier creëert men een functie, die onafhankelijk is van de fabrikant. De kwaliteits-functionaris beslist in die zaken, waarbij een objectief oordeel nodig is, b.v. bij binnengekomen klachten en concurrentieonderzoek.

De typisch gerichte taak van het kwaliteits-laboratorium om te adviseren en te controleren, concurrentieonderzoek te doen, contacten te onderhouden met de afnemers, werkt een goed inzicht in de hand in specificaties en in de juiste kwaliteit en maakt het mogelijk, dat er geroutineerde meetmensen komen, die in een centrale meetkamer meetservice aan andere afdelingen kunnen geven.

Als belangrijkste taak bij kwaliteitsbeleid geldt de preventie, het voorkomen van moeilijkheden door, voordat de produktie een aanvang neemt, een juiste balans te verkrijgen tussen productie kwaliteit en kwaliteitseisen.

Een belangrijk hulpmiddel hierbij is procesanalyse.

Als eerste voorbeeld nemen we een moertje. Hiervan was een grote bestelling binnengekomen en de proefproduktie probeerde het te maken. Het produkt is eenvoudig te beschouwen als een schijfje ferroxcube met een gat erin en er bestonden bepaalde eisen op de dikte van dit produkt, die tussen T_1 en T_2 moest liggen.

Toen de proefproduktie werd gemeten kwam de volgende (zie figuur 12) 4-toppige verdeling eruit. In eerste instantie dacht men dat dit produkt niet te maken was, daar de spreiding of de diktemaat zoveel groter was dan het tolerantiegebied.

Nu bleek, dat deze 4-toppigheid werd veroorzaakt, doordat willekeurige metingen waren gedaan op dikte van willekeurige hoekpunten. Het had dus zin te kijken, of elk van die hoeken wel binnen de tolerantie lag. Mocht dit het geval zijn, dan zou het produkt op de een of andere manier niet parallel gemaakt zijn. Grafiek 13 geeft aan hoe het produkt wordt gefabriceerd uit een balkje waar het gat al inzit. Dit balkje staat tegen een aanslag en wordt in de richting loodrecht op de scharnier bewogen naar een slijpschijf, zoals in de figuur te zien is.

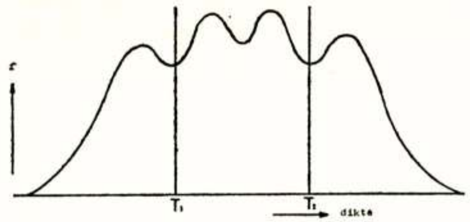


Fig. 12.
Frequentieverdeling van diktemaat in proefproduktie.

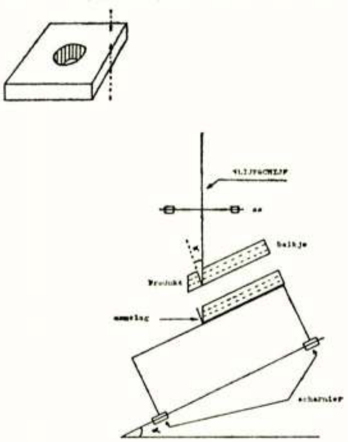


Fig. 13
Schematische voorstelling van fabrikage van moertje.

Ook ziet men de tweede stand van het balkje na het snijden. Als nu het balkje niet evenwijdig maar schuin ten opzichte van deze slijpschijf bewogen wordt, zal het gevolg zijn, dat een wig wordt uitgeslepen en dat het produkt, dat overblijft dus bepaald niet parallel is.

Uit de dikte metingen was te berekenen hoe groot de afwijkende hoek moest zijn tussen de balk en de snijschijf. Waar de afstand bekend was tussen de twee scharnierpunten, waarom het balkje gescharnierd werd, was ook te berekenen hoeveel tiende millimeters dit scharnier verplaatst diende te worden. Tien minuten later was de machine bijgesteld. Het bleek dus, dat het produkt eenvoudig te maken was.

Men ziet hieruit, dat statistiek niet altijd de uitkomst hoeft te brengen. Statistiek is zeer nuttig voor die gevallen, waar het normaal vakmanschap tekortschiet, maar men moet zich wel realiseren: waar men statistiek introduceert in een bedrijf, daar introduceert men op hetzelfde moment toeval.

Het verdient aanbeveling het vakmanschap te versterken in

de fabriek, daar bereikt men dikwijls meer mee, dan met mensen, die geen vakmanschap bezitten en alleen statistisch goede hulpmiddelen hebben.

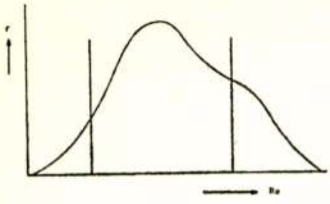


Fig. 14a
Frequentieverdeling van de weerstandswaarde van oude produktie NTC weerstanden.

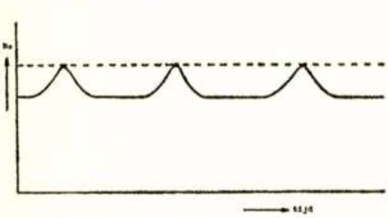


Fig. 14b
Gemeten R_0 waarden in chronologische volgorde.

Figuur 14 geeft hiervan nog een voorbeeld, betreffende NTC- weerstanden, die gestookt worden.

Men ziet het resultaat van een produktieproces, dat niet beheerst is. Daar sorteren nogal duur is, werd geprobeerd of de produktie niet zodanig te veranderen was, dat die verdeling wat beter werd.

Het produkt wordt als volgt gemaakt:

Eerst wordt een cilinder gespoten van het keramische materiaal. Deze cilinder wordt in een bakje gelegd met een stel andere cilinders en deze bakjes worden door een pijpoven heengevoerd, waarna ze gemeten worden. In de loop van de tijd kwam er een typisch effect naar voren, n.l. de weerstandswaarde nam tijdelijk toe, om daarna weer een tijd constant te blijven en vervolgens weer een beetje toe te nemen. Er zat een opvallend grote regelmaat in. Trekt men een lijn door de toppen in de verdeling, dan valt direkt te zien, dat de oorzaak gezocht moet worden bij de schuitjes, waarin gestookt wordt. Deze schuitjes hebben n.l. daar waar ze elkaar raken een andere warmtewaarde dan in het midden, waar een groter aantal produkten het oppervlak van het schuitje raakt. De temperatuur-cyclus wordt dus anders bij het eind van het schuitje in vergelijking tot het midden.

Door nu produkten uit de koppen van de schuitjes meteen uit te sorteren en het middendeel in één keer door te leveren met een steekproefje en de kop uit te sorteren, is een hoog rendement bereikt en krijgt men produkten die binnen de grenzen liggen.

Bij de bovenstaande voorbeelden van procesanalyse konden de moeilijkheden op een eenvoudige manier worden opgelost.

In moeilijker gevallen werd vaak met succes gebruik gemaakt van statistische methoden.

Voor de introduktie van eenvoudige statistische methoden maken wij gebruik van z.g. statistisch speelgoed.*)

In het bovenstaande hoop ik U in grote en dus grove trekken een indruk te hebben gegeven van het kwaliteitsbeleid in onze groep Keramische Produkten.

---

*) H. van der Weiden: Statistisch Speelgoed. Sigma 5e Jaargang (1959) nr. 2.

Manuscript ontvangen op 12 januari 1962.

Miniaturisatie van weerstanden en condensatoren

door W. Beukema *)

1. Inleiding

In schakelingen met elektronenbuizen komen veel weerstanden voor waarin tot 2 Watt vermogen gedissipeerd wordt, terwijl een groot aantal condensatoren op een bedrijfsspanning van 350 à 500 Volt berekend moet zijn. Dit bepaalt mede de afmetingen van deze onderdelen.

In transistorschakelingen is de dissipatie op een enkele uitzondering na beperkt tot enkele tientallen milliwatts en de spanning tot enkele tientallen volts.

In de volgende hoofdstukken wordt aan de hand van enkele voorbeelden nagegaan wat deze verlaging van elektrische belastingen voor het ontwerp van weerstanden en condensatoren kan betekenen.

2. Weerstanden

Fundamenteel voor het begrip weerstand is de Wet van Ohm die, oorspronkelijk afgeleid voor een metalen draad, zegt dat de spanning op die draad en de stroom er door evenredig met elkaar zijn:

$$V = RI$$

Hier is de weerstand dus op te vatten als evenredigheidsconstante in een lineaire vergelijking.

De grootte van de weerstand is afhankelijk van de soort metaal waarvan de draad gemaakt is. Ook enkele andere materialen zoals kool en enkele metaaloxyden blijken deze evenredigheid tussen stroom en spanning te vertonen. Hier is het begrip weerstand dus gebruikt in de zin van materiaal-eigenschap.

2.1 *Draadgewonden weerstanden*

Onderwerp van deze beschouwing is verder de weerstand

*) N.V. Philips' Gloeilampenfabrieken te Eindhoven.

als voorwerp, als twee-pool, waarbij uitgegaan wordt van de draadgewonden weerstand.

De weerstandswaarde van een metalen draad is behalve van het materiaal ook afhankelijk van de afmetingen en wel volgens de bekende betrekking

$$R = \varrho \frac{l}{O}$$

met l = lengte

O = doorsnede

ϱ = specifieke weerstand

De specifieke weerstand is temperatuurafhankelijk en wel lineair voor niet te grote temperatuurtrajecten

$$\varrho(T_2) - \varrho(T_1) = K\varrho(T_2 - T_1)$$

Hierin is K de temperatuurcoëfficient van de specifieke weerstand. Enkele waarden van ϱ en K zijn in tabel 1 samengevat.

	$\varrho(\mu\,\Omega$ cm)	$K \cdot 10^4$
zilver (Ag)	1,6	38
koper (Cu)	1,9	39
goud (Au)	2,4	34
aluminium (Al)	2,9	39
molybdeen (Mo)	5,7	40
zink (Zn)	5,8	37
nikkel (Ni)	7,8	60
platina (Pt)	10,0	30
ijzer (Fe)	10	50
tantaal (Ta)	15	42
messing	7	20
fosforbrons	7,8	18
manganin (0,84 Cu 0,12 Mn 0,04 Ni)	44	0,1
constantaan (0,60 Cu 0,40 Ni)	49	0,1
nildalchroom	100	4
grafiet	800	
kool	3500	

Tabel 1

De in de elektronica meest gebruikte weerstandswaarden variëren tussen $10\,\Omega$ en $10\,M\Omega$, dus een variatie van $1:10^6$. Het geometrisch gemiddelde van dit gebied is $10.000\,\Omega$. Voor deze waarde wordt een draadweerstand berekend waarbij wordt uitgegaan van een metaal met een ϱ van $50\,\mu\,\Omega$ cm of $50.10^{-6}\,\Omega$ cm. Dit ingevuld in (1) geeft:

$$R = 10.000 = 50.10^{-6}\,\frac{l}{o}$$

De verhouding $\frac{lengte}{doorsnede}$ van de draad moet dus $\frac{l}{o} = 2.10^{8}\,\text{cm}^{-1}$ zijn.

Wil men de afmetingen van de weerstand zo klein mogelijk maken dan moet dus de doorsnede zo klein mogelijk zijn, d.w.z. dat de draad zo dun gekozen moet worden als maar mogelijk is. Als aangenomen wordt dat een draad met een doorsnede van $16\,\mu m$ nog redelijk in grote lengten te verwerken is dan is de draaddoorsnede

$$\frac{\pi}{4}\,.\,256\,.\,10^{-8} = 2.10^{-6}\,\text{cm}^2$$

en heeft men dus voor $10.000\,\Omega$ 4 meter draad nodig. De hoeveelheid weerstandsmateriaal is $400 \times 2.10^{-6}\,\text{cm}^3 = 0{,}8\,\text{mm}^3$.

Nu heeft deze draad wel een weerstand van $10.000\,\Omega$ maar het is nog geen weerstand van $10.000\,\Omega$, de vorm is n.l. volkomen onbruikbaar voor montage in een apparaat: de draad moet nog gewikkeld worden op een staaf of een haspeltje waaraan ook mechanisch de aansluitdraden of -lippen bevestigd zijn en voorts moet nog een bescherming tegen klimatologische invloeden aangebracht worden.

Een algemeen bekende uitvoeringsvorm hiervan is de volgende.

Een keramisch staafje wordt aan de einden voorzien van opgedrukte metalen doppen waaraan aansluitdraden gelast of gestuikt zijn. De weerstandsdraad wordt op het staafje gewikkeld en de uiteinden worden aan beide doppen gelast of gesoldeerd, daarna wordt het geheel bedekt met lak, emaille of cement.

De geprojecteerde oppervlakte van de bovengenoemde draad is $16.10^{-3} \times 4.10^{3} = 64\,\text{mm}^2$. Als de draad nu in een enkele laag gewikkeld wordt met een wikkelspatie gelijk aan de draaddikte dan moet de oppervlakte van het staafje tussen de doppen tenminste $128\,\text{mm}^2$ zijn, dus bij een staafdiameter van bijv. 3 mm een lengte tussen de doppen van 13 mm. Hiermee zijn voor een

draadgewonden weerstand van 10.000 Ω wel ongeveer de minimum afmetingen gegeven. De begrenzende factor in deze beschouwing was de draaddiameter die gegeven was door de mechanische sterkte. Bij gegeven draaddiameter is de draadlengte evenredig met de weerstandswaarde, dus ook de afmetingen van de weerstand worden door de weerstandswaarde bepaald, een weerstand van enkele megohms op bovengenoemde wijze gemaakt zou zeer grote afmetingen en als neveneffect zeer grote zelfinductie krijgen.

2.2. *Koolweerstanden*

Hier kan uitkomst gebracht worden door gebruik te maken van een weerstandsmateriaal met hogere soortelijke weerstand dan de metaallegeringen, met name door koolstof in verschillende vormen.

Van deze vormen wordt genoemd grafiet met $\varrho \approx 800\ \mu\,\Omega$ cm, kool met $\varrho \approx 3500\ \mu\,\Omega$ cm en mengsels van kool en/of grafiet met verschillende harsen. De soortelijke weerstand hiervan ligt nog weer veel hoger en is afhankelijk van de verhouding koolhars. Hier wordt de weerstand n.l. mede bepaald door de contactweerstand van de in hars gesuspendeerde kooldeeltjes.

Men kan nu op verschillende manieren koolweerstanden maken. Een van de meest bekende sluit aan op de al beschreven constructie van de draadweerstand. In plaats van de weerstandsdraad vormt nu een koollaag op het keramische staafje het weerstands-element.

Dit laagje wordt aangebracht door het staafje te verhitten tot een temperatuur in de grootte-orde van 1000° C en dan een koolwaterstofgas toe te laten dat onder invloed van de hoge temperatuur ontleedt (cracked carbon) en koolafzetting op het staafje geeft.

Op het zo bekoolde staafje worden weer doppen gedrukt. Daarna wordt over de omtrek van het staafje een spiraalgroef geslepen door de koollaag heen, waardoor de weerstandsbaan een grote lengte en kleine doorsnede krijgt. Door variatie van koollaagdikte en spoed van de spiraalgroef kan men een grote verscheidenheid van weerstandswaarden maken.

Weerstandslagen worden in de regel gekenmerkt door hun $R_{\square}$. Dit is de weerstand die men vindt als twee lijnvormige electroden parallel op de laag aangebracht worden, zodanig dat

hun afstand even groot is als hun lengte. Als de laagdikte d is en de lengte en afstand van de electroden l, dan is de weerstand van de zo gevormde geleider

$$R_{\square} = \varrho \frac{l}{dl} = \frac{\varrho}{d}$$

dus onafhankelijk van de zijde van het vierkant.

Hieruit volgt bijv. dat men een $R_{\square}$ van 1000 Ohm de dikte van een grafietlaag ($\varrho = 800 \,.\, 10^{-6}$) in de grootte orde van $80 . 10^{-8}$ cm = 80 ÅE dik is.

Een gemakkelijke werkgrootheid bij de reeds beschreven constructie is de R_0-waarde, d.w.z. de waarde van de niet-gespiraliseerde weerstand. De verhouding tussen de eindwaarde van de gespiraliseerde weerstand en de R_0 wordt spiraliseringsfactor genoemd. Deze kan op betrekkelijk eenvoudige wijze uitgerekend worden als spoed en groefbreedte bekend zijn; het is een zuiver geometrisch probleem.

De maximale spiraliseringsfactor die men toelaat wordt bepaald door de spoed van de schroeflijn en de breedte van de geslepen groef. Men maakt de breedte van de koolbaan niet te klein daar dan een storing in het oppervlak van de keramische drager te snel tot onderbreking leidt.

Het zal duidelijk zijn dat de maximale spiraliseringsfactor toeneemt met de grootte van het staafje. Voor een staafje van bijv. 3 mm ø en 10 mm lang is dit ongeveer 1000.

Voor staafjes van deze afmetingen zijn $R_{\square}$ en R_0 ongeveer even groot. Om een weerstand van 10 $M\Omega$ te maken zou men dan moeten uitgaan van een R_0 van 10.000 Ω, hetgeen voor grafiet met $\varrho = 800 . 10^{-6}$ een laagdikte van 8 ÅE zou betekenen. Voor dergelijke laagdikten mag echter niet meer met de ϱ van het massieve materiaal gerekend worden, o.a. omdat de vrije weglengte van de geleidingselektronen een rol gaat spelen. De werkelijke gemiddelde laagdikte zal groter zijn. De betrouwbaarheid van dergelijke dunne lagen wordt wel een probleem.

Men gebruikt voor deze hoge weerstandswaarden dan ook dikwijls lagen bestaande uit een mengsel van kool en bepaalde synthetische harsen waarvan de soortelijke weerstand veel hoger gemaakt kan worden, dus met dikkere lagen gewerkt kan worden. De stabiliteit van deze weerstandslagen is geringer (vocht, levensduur, temperatuurscoëfficient) dan van de pyrolytisch aangebrachte lagen.

Men kan uit een mengsel van kool en hars ook een soort

deeg maken en dit binnen in een isolerend omhulsel persen, zodanig, dat de einden van de aansluitdraden mee ingeperst worden: men heeft dan de zgn. massa-weerstand (composition resistor). Men werkt dan met een mengsel van kool en hars met zo hoge ϱ dat de lengte van het weerstandslichaam niet groot meer is ten opzichte van de doorsnede en de stroomdichtheid niet overal gelijk is.

Voor niet te hoge weerstandswaarden gebruikt men tegenwoordig ook meer en meer metaal of metaaloxyde-lagen inplaats van koollagen.

Bij een korte beschouwing van de miniaturiseringsmogelijkheden van beide genoemde weerstandsconstructies blijkt dat bij evenredige verkleining van de filmweerstand de weerstandswaarde gelijk blijft bij lineaire verkleining van alle afmetingen met uitzondering van de laagdikte, die gelijk moet blijven.

Voor de massa-weerstand neemt de weerstand lineair toe bij lineaire verkleining van de afmetingen, immers de diameter neemt kwadratisch, de lengte lineair af. Dit kan gecompenseerd worden door een massa met lagere ϱ te nemen.

In wezen wordt men hier weer begrensd door mechanische factoren, door de hanteerbaarheid. Een praktische grens van de afmetingen ligt in de buurt van $\varnothing \backsim 1$ mm $l \approx 6$ à 8 mm.

3. Condensatoren

Zoals bij de weerstanden de Wet van Ohm, is bij de condensatoren de vergelijking

$$Q = CV$$

het uitgangspunt waarin C de evenredigheidsconstante in het verband tussen lading en potentiaalverschil is. Door differentiatie van de vergelijking ontstaat een verband tussen tijdafhankelijke stromen en spanningen en blijkt dat een condensator zich gedraagt als een frequentieafhankelijke impedantie voor sinusvormige wisselstromen. Als zodanig zijn er twee grote toepassingsgebieden voor condensatoren, n.l. die waar het gaat om lage impedantie voor hoge frequenties en hoge impedantie voor gelijkspanning (koppeling en ontkoppeling) en die waar het gaat om een exacte capaciteitswaarde waar bijv. samen met zelfinducties een gedefiniëerde functie van de frequentie verkregen moet worden.

Bij het beschouwen van afmetingen van condensatoren kan

men het eenvoudigste uitgaan van de formule voor de capaciteit van de vlakke condensator:

$$C = 0{,}08842\,\varepsilon\,\frac{O}{d}$$

waarin O en d respectievelijk elektrodenoppervlakte en -afstand zijn in cm en ε de diëlektrische constante van het diëlektricum.

Dit diëlektricum bepaalt voor een belangrijk gedeelte de parasitaire eigenschappen van de condensator zoals diëlektrische verliezen, isolatieweerstand, doorslagspanning en de temperatuur-, spanning-, en frequentieafhankelijkheden van de capaciteit.

Naar toepassingsgebied en capaciteitsbereik kunnen de condensatoren ongeveer ingedeeld worden als aangegeven in figuur 1.

Om de verschillende diëlektrica met elkaar te kunnen vergelijken is in tabel 2 samengevat wat een vierkante cm van de kleinste dikte van elk materiaal voor capaciteit oplevert. Hierbij is aangenomen dat de elektroden geen dikte hebben. Tevens is de toelaatbare bedrijfsspanning opgenomen, waarbij is aangenomen dat voldoende isolatie aanwezig is om randoverslag te voorkomen. Deze isolatierand is niet in het werkzame oppervlak meegerekend.

materiaal	diël. const.	bedr. veldst.	kleinste dikte	cap./cm²	bedr. sp.	opmerkingen
keramiek I	100	2,5 V/μ	100 μ	880 pF	250 V	(lage ε) afstemming
keramiek II	10.000	1	200	44.000	200	(hoge ε) ontkoppeling
papier	4,2	15	8	460	120	gemetalliseerd
papier	4,2	12	2×8	230	180	met metaal-folie
polyester	3,2	20	6,25	450	125	
polystyreen	2,5	12	15	150	180	
mica	6 à 7	25	20	300	500	

Tabel 2

Deze tabel geeft geen vergelijking van capaciteit per volume-eenheid maar hier zijn opgegeven de kleinste redelijk hanteerbare of verkrijgbare materiaaldikten, die dus bedrijfsspanningen opleveren welke ver liggen boven de voedingsspanningen welke voor transistoren gebruikt worden. Hierbij worden de afmetingen dus bepaald door de mechanische sterkte en niet door de elektrische belasting.

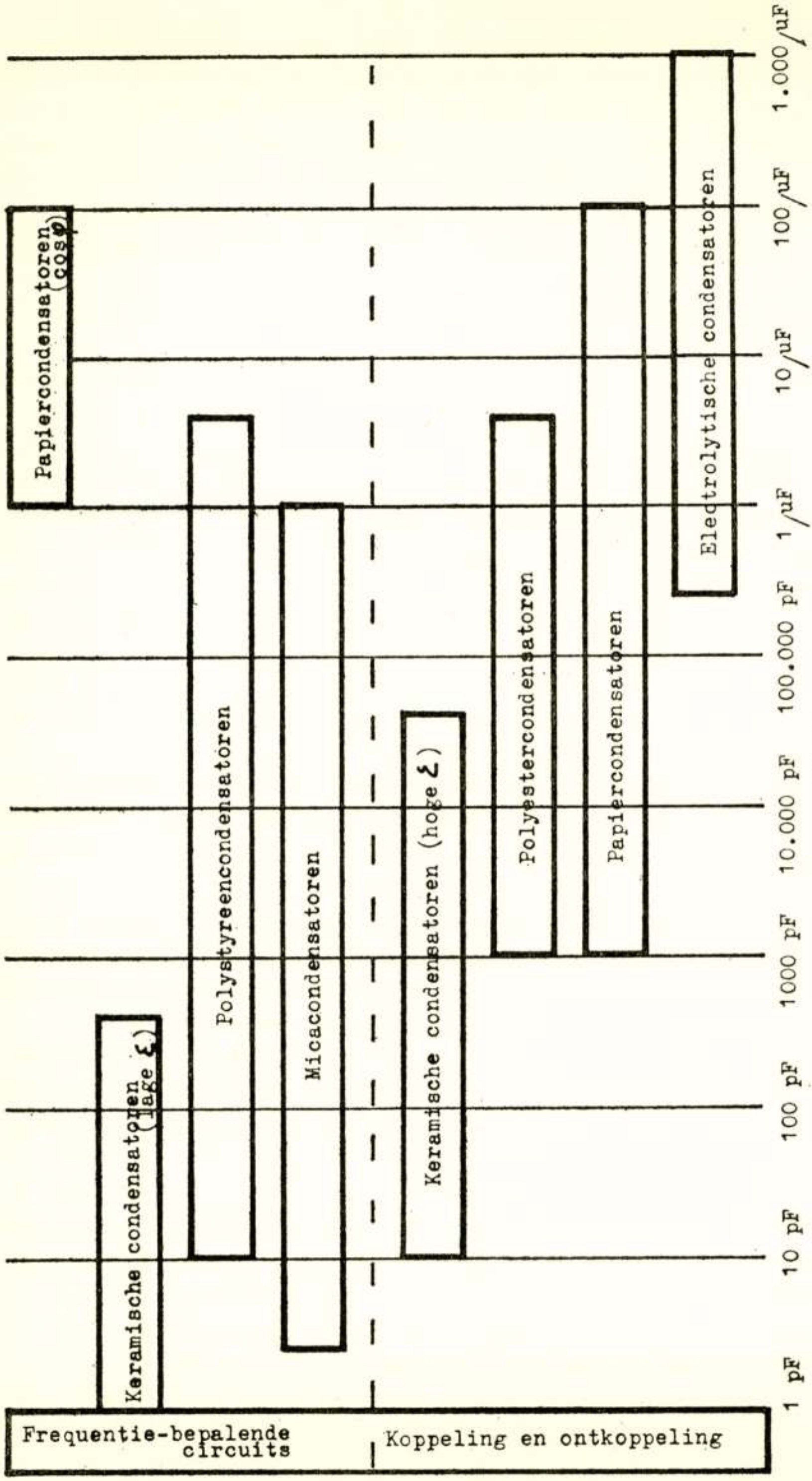

1 pF
10 pF
100 pF
1000 pF
10.000 pF
100.000 pF
1 /uF
10 /uF
100 /uF
1.000 /uF
Frequentie-bepalende circuits
Koppeling en ontkoppeling
Keramische condensatoren (lage ε)
Polystyreencondensatoren
Micacondensatoren
Papiercondensatoren (cos φ)
Keramische condensatoren (hoge ε)
Polyestercondensatoren
Papiercondensatoren
Electrolytische condensatoren

Fig. 1.

Hoewel in bovengenoemde tabel sprake is van capaciteiten zijn dit nog geen condensatoren. Daarvoor moeten er op zijn minst nog aansluitdraden aan gemaakt worden en moeten ze voorzien worden van een passende omhulling. Voor de keramische plaatjes is dit wel voorstelbaar. Voor de micacondensatoren moeten de plaatjes op een „geraamte" gemonteerd worden. De plastische folies worden gemetalliseerd of tesamen met metaalfolie opgewikkeld tot een wikkel van voldoende mechanische sterkte. Het is niet de bedoeling om hier verder in te gaan op details van deze condensatorconstructies.

Een nieuwe techniek voor het maken van condensatoren met zeer dunne folie is de volgende: papier wordt voorzien van een anti-hecht laag en hierover wordt een laklaag aangebracht welke laatste weer bedekt wordt met een door opdampen aangebrachte metaallaag. Twee van deze laklagen worden van het papier afgetrokken en tesamen opgewikkeld tot een condensator. De scheiding van papier en lak vindt plaats op de wikkelmachine dicht bij de wikkelas, zodat het papier zo lang mogelijk zijn rol als mechanische beschermer kan vervullen.

De oxydlaag condensatoren vormen een aparte groep. Hieronder worden verstaan die condensatoren waarbij het diëlektricum gevormd wordt door oppervlakkige oxydatie.

Bij de aluminium of tantaal-elektrolytische condensatoren gaat men uit van het metaal in folie- of draadvorm. Dit wordt oppervlakkig geoxydeerd. Het metaal vormt dan de ene elektrode en een elektrolyt de andere.

Bij de droge tantaalcondensator gaat men uit van een gesinterd brokje tantaal dat ook weer oppervlakkig geoxydeerd wordt waarna de tegenelektrode gevormd wordt door achtereenvolgens aanbrengen van halfgeleidende en geleidende laagjes.

De sperlaagcondensator bestaat uit een keramisch plaatje dat door reductie halfgeleidend gemaakt is en door oppervlakkige oxydatie weer van twee dunne diëlektrische lagen voorzien is.

Bij deze groep condensatoren laat men de oxydatie zo ver voortschrijden als voor de gewenste bedrijfsspanning nodig is. Hier is de diëlektricumdikte dus wel aangepast aan de bedrijfsspanning en komt men dus voor lage spanningen tot hoge capaciteit per volume-eenheid.

4. De samenbouw van onderdelen

In het voorgaande zijn enige factoren beschouwd welke invloed

hebben op de miniaturisatie van weerstanden en condensatoren. Gebleken is dat de begrenzende factoren in de regel van mechanische aard zijn zoals materiaalsterkten en hanteerbaarheid bij de onderdelenfabricage. Ook in de montage van de elektronische apparatuur zal men, behalve in speciale gevallen, niet met uiterst kleine delicate onderdelen kunnen werken. Echter niet de kleine afmetingen van de onderdelen zelf zijn primair, doch die van de ermee te bouwen apparaten zodat ook nog een tweede factor in acht genomen moet worden, n.l. zo min mogelijk ledige ruimte in het apparaat, dus een hoge pakkingsdichtheid van de onderdelen.

In de regel heeft de ontwerper van een apparaat te maken met een groot aantal onderdelen van velerlei soort, vorm en afmetingen. Deze samenbouwen tot een apparaat met grote pakkingsdichtheid is, aangenomen dat warmte-afvoerproblemen geen rol spelen, op zichzelf al een opgave welke nog extra gecompliceerd wordt door in het algemeen te stellen eisen van gemakkelijke verwisselbaarheid van onderdelen (serviceability). Deze problemen zouden aanzienlijk eenvoudiger zijn als het mogelijk zou blijken een soort universeel montagesysteem te volgen waarvoor een complete reeks onderdelen beschikbaar zou zijn.

Als voorbeeld van een dergelijk systeem kan gelden het 6 à 7 jaar geleden door het Bureau of Standards te Washington gepubliceerde werk: „Modular System of Electronics", meer bekend onder de naam project Tinkertoy. Dit voor buizen-circuits opgezette systeem was gebaseerd op het gebruik van vierkante keramische plaatjes met zijde van ongeveer 2 cm. Deze plaatjes waren de dragers van onderdelen als weerstanden, condensatoren en zelfinducties. Langs elke van de vier zijden van de plaatjes waren drie verzilverde contact-vlekjes aangebracht. Een aantal van dergelijke plaatjes werd parallel, als de etages van een gebouw, door twaalf zgn. riserwires elektrisch en mechanisch doorverbonden tot blokjes, de zgn. modules. In de regel was het bovenste plaatje voorzien van een buishouder.

Een aantal van zulke modules werd door middel van een plaat met gedrukte bedrading onderling doorverbonden tot de gewenste schakeling.

Dit systeem heeft geen grote opgang gemaakt. Het is hier niet de plaats om op de oorzaken daarvan in te gaan; één ervan is zeker, dat het systeem niet aangepast was aan de transistor.

Een systeem dat wel uitgaat van de transistor als actief

schakel-element is het „micro-module-system" dat in opdracht van het Signal Corps ontwikkeld wordt en waarbij de *RCA* optreedt als hoofd-contractant. De opbouw is in wezen dezelfde als bij Tinkertoy maar veel kleiner, de keramische plaatjes zijn 8×8 mm² i.p.v. 20×20 mm².

Tal van firma's ontwikkelen voor de bouw van eigen apparatuur een eigen systeem, meestal gebaseerd op het gebruik van platen met gedrukte bedrading. Hierbij komt duidelijk naar voren de wenselijkheid van een zekere uniformiteit in de bouw van de diverse onderdelen, bijvoorbeeld een gelijke bouwhoogte boven de montageplaat.

5. De integratie van onderdelen

In de voorgaande hoofdstukken is de verkleining van enkelvoudige weerstanden en condensatoren behandeld evenals de verkleining van de ruimte tussen de onderdelen in het apparaat.

Een verdergaande mogelijkheid voor miniaturisatie kan gevonden worden in de integratie van onderdelen. Dit is op de volgende manier in te zien.

Een elektronisch onderdeel is te onderscheiden in het elektrisch actieve deel, de aansluitorganen, het „geraamte", dat dient om de mechanische stevigheid te geven, en de omhulling. In een groot aantal gevallen is het volume van het elektrisch actieve deel zeer klein t.o.v. de andere elementen. Zo heeft bijv. de hoeveelheid weerstandsmateriaal op een opgedampte koolweerstand van $\frac{1}{4}$ Watt een oppervlakte van ongeveer 1 cm² en een dikte in de orde van 100 Angstrom eenheden. Dit betekent een volume van 0,001 mm³ weerstandsmateriaal. Voor de meeste diëlektrica is een laagdikte van enkele tienden van μm tot enkele μm voldoende om de bij transistoren gebruikte spanningen te verdragen.

Als nu een aantal onderdelen op eenzelfde drager aangebracht wordt en door een gemeenschappelijke omhulling tegen invloeden van buiten beschermd wordt, is zeker te verwachten dat dit geheel kleiner gemaakt kan worden dan het geheel van de samen gemonteerde equivalente individuele onderdelen.

Bij dit integreren van onderdelen wordt dus niet gedacht aan mechanische montagetechnieken, want dit zou een verschuiving van het probleem betekenen, doch aan fysische en chemische technologieën als opdampen, sputteren, zandstralen, etsen enz.

De vraag doet zich nu voor welke onderdelen samen geïntegreerd moeten worden. Hierbij kan men uitgaan van twee

mogelijkheden, n.l. zoveel mogelijk technologische eenheid, dus alleen gelijksoortige onderdelen bij elkaar, weerstandsnetwerken, capaciteitsnetwerken òf functionele eenheid, dus alle bij een bepaalde schakeling behorende onderdelen bij elkaar. De eerste benadering heeft het nadeel van schakeltechnisch gezien niet erg logisch te zijn, dus waarschijnlijk een vrij gering toepassingsgebied te vinden. De tweede geeft de moeilijkheid dat onderdelen die gemaakt worden met dikwijls geheel verschillende technieken, die in de meeste gevallen onderling niet „compatible" zijn, geïntegreerd moeten worden. Als voorbeeld van „incompatability" met andere technologieën kunnen genoemd worden de spoelen en transformatoren die, behalve voor zeer kleine zelfinductiewaarden, typische montageonderdelen zijn. Soms tracht men ze te vervangen door elektro-mechanische resonatoren of *RC*- reactantieschakelingen.

Voor schakelingen die gebruikt worden in digitaal werkende apparatuur spelen zelfinducties een zeer ondergeschikte rol en juist hier heeft het gebruik van functionele eenheden veel zin, daar enkele types schakelingen in grote aantallen voorkomen. Het integreren van weerstanden, condensatoren, diodes en transistoren is dus zeer belangrijk voor een verdergaande miniaturisatie van elektronische apparatuur,

De integratie van weerstanden en condensatoren is bijv. uitvoerbaar door op een plaatje (substraat) van glas of keramiek door opdampen en/of sputteren in de gewenste patronengeleiders, weerstandsmaterialen en diëlektrica aan te brengen. Om hier transistoren en diodes aan toe te voegen zou men in staat moeten zijn om op deze amorfe of polykristallijne substraten éénkristallijne laagjes germanium of silicium aan te brengen. Het integreren van transistoren en diodes kan gebeuren door in een halfgeleider éénkristal op de juiste plaatsen de juiste *p*- of *n*-verontreinigingen aan te brengen. De integratie van condensatoren in dit systeem kan geschieden door een *p-n* junction in de sperrichting als condensator te gebruiken of door het plaatselijk oxyderen van silicium, waardoor een diëlektrisch laagje ontstaat. Als weerstand kan die van het halfgeleidermateriaal gebruikt worden. Hier zijn nog vele moeilijkheden op te lossen voordat de weerstanden en condensatoren de gewenste optimale eigenschappen hebben.

Naarmate men meer bewerkingen aan een produkt doet zal de kans op uitval groter zijn. Ditzelfde zal ook gelden voor de geïntegreerde onderdelen. Naarmate men meer onderdelen combi-

neert zal men de processen waarmee dit gebeurt beter moeten beheersen om een fabricage met een goed rendement en een produkt met een grote bedrijfszekerheid te krijgen.

Tenslotte dient hier nog een speciaal aspect van de geïntegreerde onderdelen genoemd te worden en wel dat van de normalisatie.

Waar bij individuele onderdelen het aantal typen, uitvoeringen en waarden al zeer groot is, is dit voor onderdelencombinaties niet meer te overzien.

In principe kan men twee kanten op, n.l. normalisatie van een betrekkelijk beperkt aantal „standaard circuits", wat uiteraard de ontwerper van het apparaat in zijn mogelijkheden beperkt. Men kan ook denken aan normalisatie van afmetingen, halffabrikaten en vervaardigingstechnieken met behulp waarmee men binnen een bepaald raamwerk combinaties „op maat" kan leveren. Het op grote schaal toepassen van dit laatste systeem zal voorlopig nog wel niet binnen het bereik van de technische en organisatorische mogelijkheden liggen.

Comparative trials with a 10 cm and 3 cm radar equipment, during a trip from the United Kingdom to the Persian Gulf v.v. in the months December 1961/January 1962, on board Dutch Tanker "ONDINA" of Shell Tankers N.V.*)

1. Introduction

On request of the Netherlands Shipowners Association, the Netherlands State Commission for Electronic Navigational Aids started a study on the matter whether a preference could be indicated to the use of either 10 cm or 3 cm commercial equipment for navigational purposes on mercantile marine vessels. It was decided that a Working Group from members of the Commission should be formed.

This group consists of:

Ir. C. B. Broersma (Radio-Holland) Chairman
Ir. E. Atsma (Electronic Bureau of the Royal Netherlands Navy)
N. Schimmel (Netherlands Radar Research Establishment)
J. Th. Verstelle (Hydrographic Department of the Royal Netherlands Navy).

The Group started to study the available international literature relating to comparative experiments with 10 cm and 3 cm radar. This did not lead to any substantial result.

It was therefore decided that a practical sea-going test had to be carried out on a vessel equipped with both 10 cm and 3 cm commercial equipment with as similar parameters as possible.

A team of experts consisting of Mr. J. A. Klerk (Nautical Instructor at the School of Navigation at Amsterdam). J. Th. Verstelle (Hydrographic Department of the Royal Netherlands Navy) and F. Rikkert (Engineer of Radio-Holland), went with the tanker "ONDINA" of Shell Tankers N.V. for a 6 weeks' roundtrip from the United Kingdom to the Persian Gulf v.v.

---

*) This paper contains a report by some members of the „Netherlands State Commission for Electronic Navigational Aids" regarding comparative trials with 10 cm and 3 cm commercial navigational radar equipment.

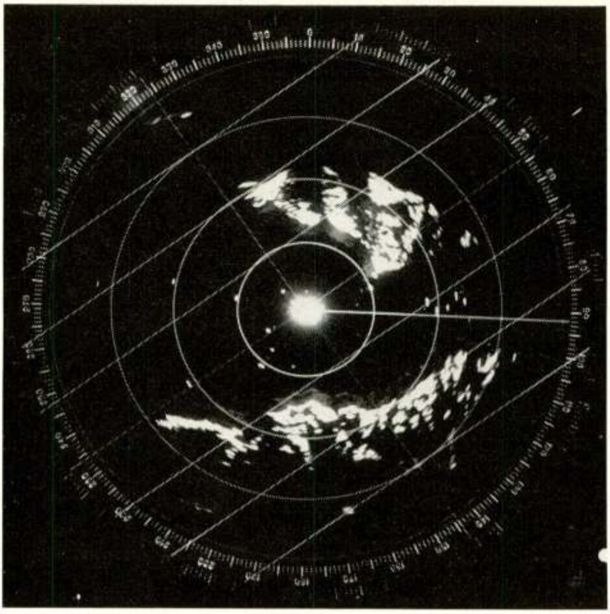


Fig. 1

Westerly approach to the Straits of Gibraltar.
Range scale 20 n.m. $\lambda = 10$ cm; f.t.c. = 0 and s.t.c. = 1/10.

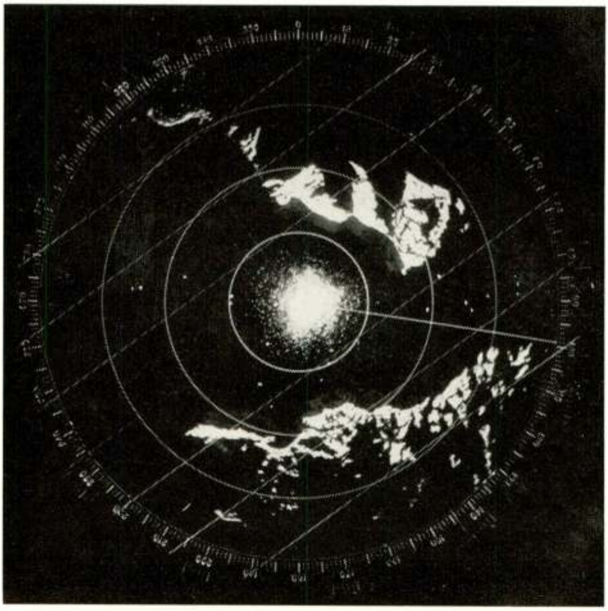


Fig. 2

Westerly approach to the Straits of Gibraltar.
Range scale 20 n.m.; $\lambda = 3$ cm; f.t.c. = 0 and s.t.c. = 1/10.

*) f.t.c. means fast time constant, s.t.c. means sensitivity time constant

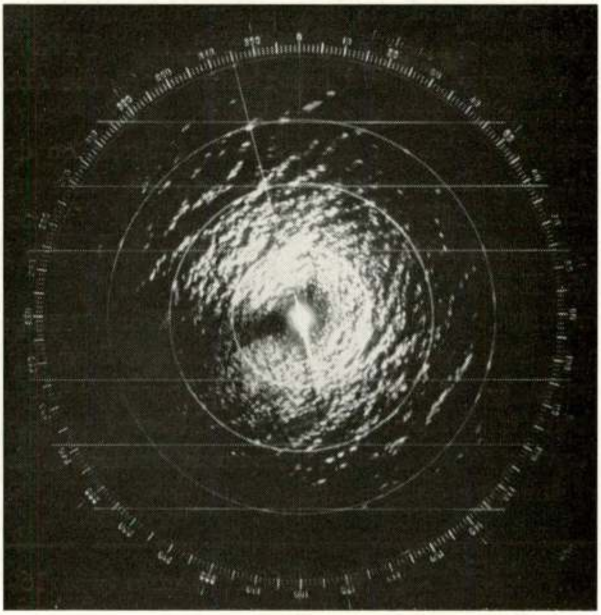


Fig. 3
Range scale 1 n.m.; $\lambda = 10$ cm; f.t.c. = 0 and s.t.c. = 0.

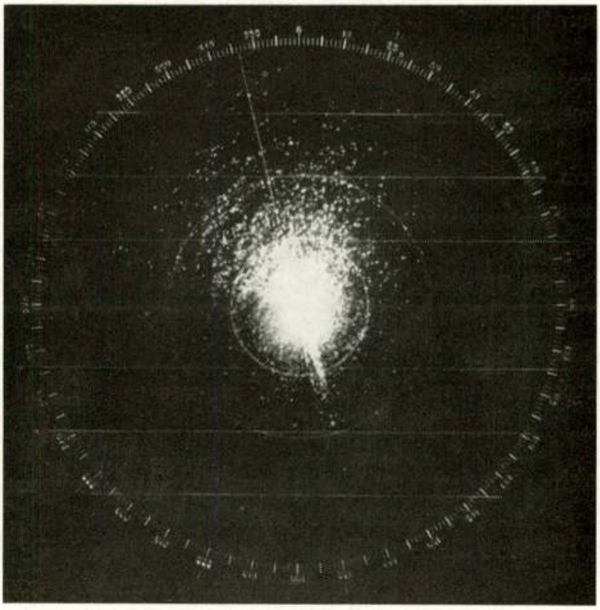


Fig. 4
Range scale 1 n.m. $\lambda = 3$ cm; f.t.c. = 0 and s.t.c. = 0.

The cooperation and the hospitality of Shell Tankers N.V., allowing the three gentlemen to sail with the "ONDINA", the assistance of Radio-Holland and the work of the above mentioned gentlemen is greatly appreciated.

The contents of this report are mainly based on data provided by Mr. J. A. Klerk who did most of the observations.

On board ss. ONDINA of Shell Tankers N.V. was installed a Raytheon model 1602, S-band (10 cm) radar and a Raytheon model 1605, X-band (3 cm) radar.

The comparison between the above mentioned equipments for coming to a final conclusion whether 10 cm or 3 cm is preferable — in general — was rather difficult because the technical characteristics of the two radars are different to some extent.

The following table shows the main differences of the characteristics of the two equipments.

	type 1602 (10 cm)	type 1605 (3 cm)
Peak transmitter power:	20 kW	40 kW
Antenna horizontal beamwidth (between the "half power" points):	1.9°	0.6°
Antenna rotation: (revolutions per minute)	12	20
Polarisation of the 12-foot slotted waveguide-antenna:	vertical	horizontal
"Overall noise figure"	13 dB average	11 dB max.
The mean height of the aerials above sea-level:	appr. 27 metres	28 metres

It is further stated that pulse length and pulse repetition frequency of both equipments are as follows:

Ranges ½, 1, 2 and 4 n.m.: Pulse duration 0.05 microseconds,
Pulse repetition frequency 4000/second

Ranges 8, 20 and 40 n.m.: Pulse duration 0,5 microseconds,
Pulse repetition frequency 1000/second.

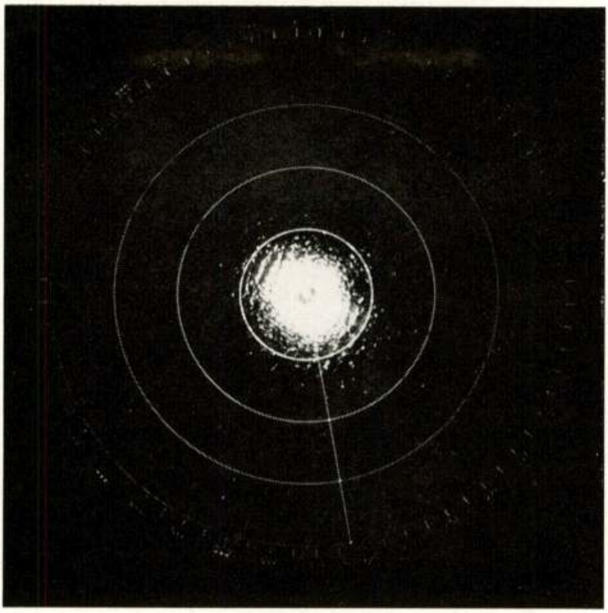


Fig. 5
Range scale 4 n.m.; d = 0,05 microseconds;
$\lambda = 10$ cm; f.t.c. = 0 and s.t.c. = 1/10.

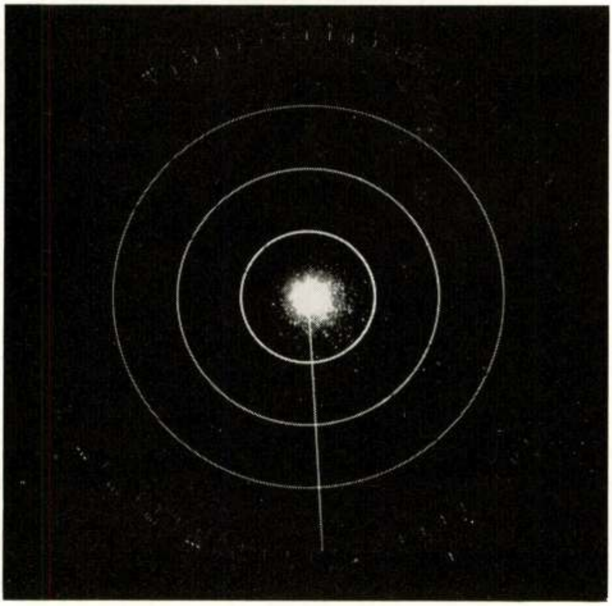


Fig. 6
Range scale 4 n.m.; d = 0.05 microseconds;
$\lambda = 3$ cm; f.t.c. = 0 and s.t.c. = 1/10.

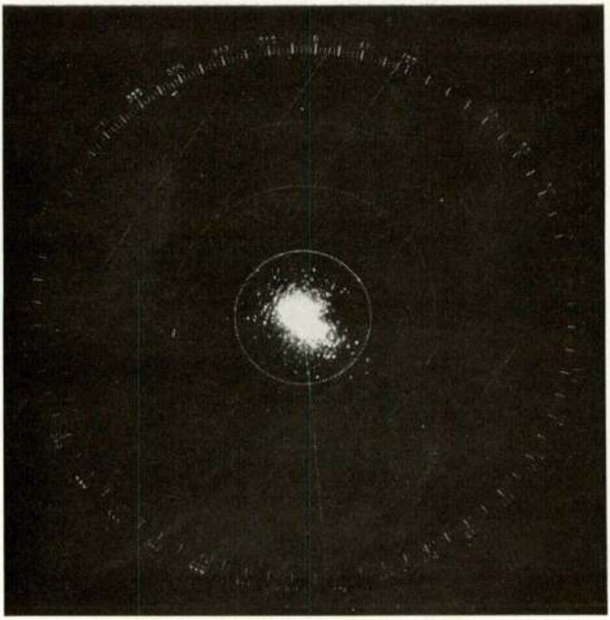


Fig. 7
Range scale 8 n.m. d = 0,5 microseconds; $\lambda = 10$ cm; f.t.c. = 0 and s.t.c. = 1/10.

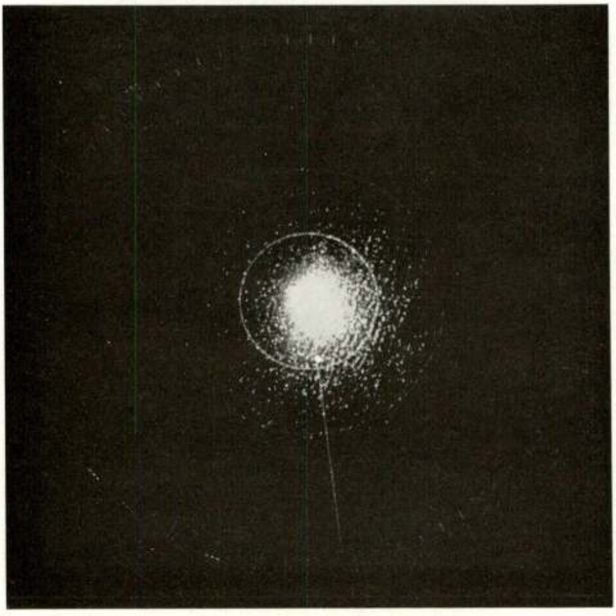


Fig. 8
Range scale 8 n.m.; d = 0,5 microseconds; $\lambda = 3$ cm; f.t.c. = 0 and s.t.c. = 1/10.

2. Maximum range of detection

From the observations on board, the ratio of the mean maximum range of detection between the 10 cm radar and the 3 cm radar amounts to 100:127 and with neglection of the extreme values the relation becomes 100:121.

An example of the difference in range of detection is shown in figure 1 (10 cm) and fig. 2 (3 cm).

3. Sea-clutter

Naturally it is known that the ratio of detecting "targets" in sea-clutter under bad sea- and swell-conditions is in favour of the 10 cm-radar.

It dit not appear to be possible to give an exact figure of this ratio.

The following facts should be noticed:

It appeared that at ranges below 1 nautical mile, the 3 cm radar was in favour of the 10 cm radar. At ranges above 1 nautical mile, the 10 cm radar was undoubtedly better, under bad sea- and swell- conditions, than the 3 cm radar.

Examples are given in the figures 3 and 4, respectively 10 cm- and 3 cm-pictures at the range scale of 1 n.m.

Figures 5 and 6 respectively are illustrating sea-clutter on the 10 cm - and 3 cm radar at the range scale of 4 n.m.

From a large number of observations it was found that the ratio of the "maximum sea-clutter-range of detection" for the 10 cm-radar and the 3 cm-radar, amounts to 100:225.

It should be mentioned that the series of photographs in the figures 3-6 are relating to the short pulse duration of 0,05 microseconds and the high p.r.f. of 4000.sec. $^{-1}$

When switching to higher range scales, the pulse duration will become 0,5 microseconds and the p.r.f. 1000.sec.$^{-1}$

In this case the observed ratio of the "maximum sea-clutter-range of detection" for the 10 cm- and the 3 cm-radar now becomes 100:167. (See the figures 7 (10 cm) and 8 (3 cm)).

When switching to a longer pulse (from 0,05 to 0,5 microseconds) and a lower p.r.f. (from 4000 sec.$^{-1}$ to 1000 sec.$^{-1}$) the "maximum sea-clutter-range of detection" shows to be higher on both equipments.

The ratio is now found experimentally to amount to 100:204. Compare the figures 5 and 7 of the 10 cm radar at respectively

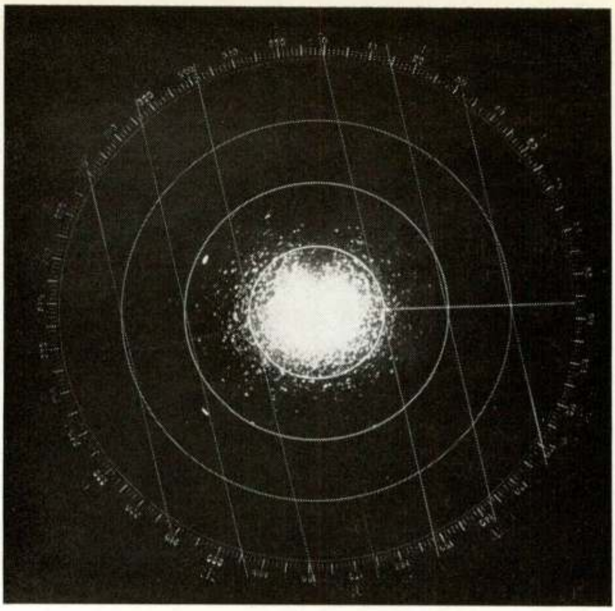


Fig. 9.

Picture taken during a light rain shower.
Range scale 8 n.m.; λ 10 cm; s.t.c. 0 and f.t.c. = 0.
Two freighters in bearing and distance 225°/4', 6 and 294°/3', 8, which happened to be in the rainshower, are clearly to distinguish.

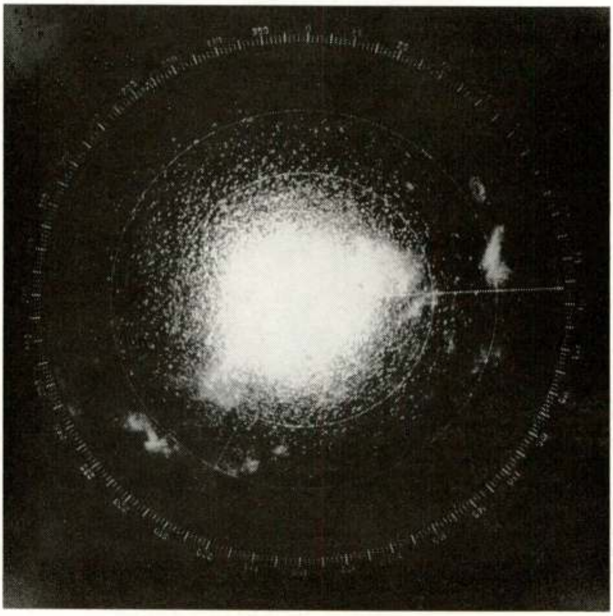


Fig. 10

Picture taken during a light rain-shower.
Range scale 8 n.m.; $\lambda = 3$ cm; s.t.c. = 0 and f.t.c. = 0.
The two ships of fig. 9 are totally lost in the rain-clutter (and seaclutter).

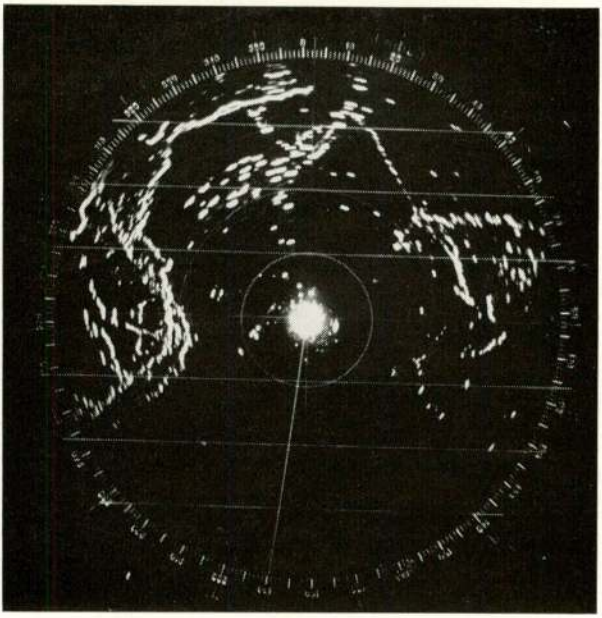


Fig. 11
Anchored in the Bay of Suez.
Range scale 8 n.m.; $\lambda = 10$ cm; f.t.c. = $^1/_2$ and s.t.c. = 0.

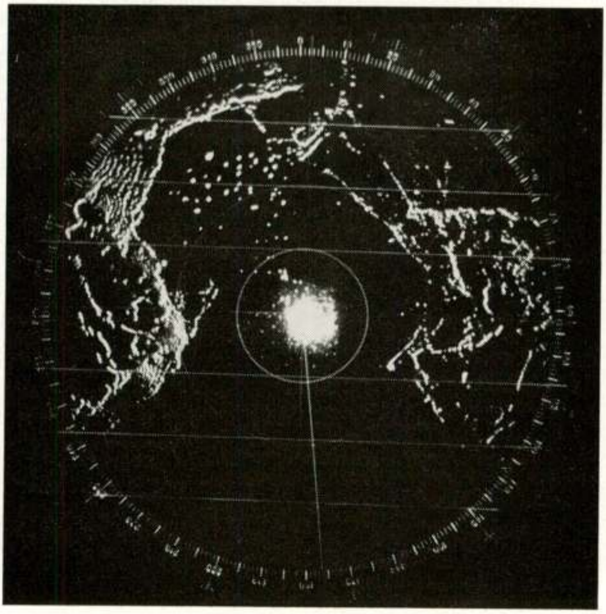


Fig. 12
Anchored in the Bay of Suez. Range scale 8 n.m.;
$\lambda = 3$ cm; f.t.c. = $^1/_2$ and s.t.c. = 0.

a range scale of 4 n.m. (pulse duration 0,05 microseconds) and 8 n.m. (pulse duration 0,5 microseconds).

Figures 6 and 8 are the corresponding pictures for the 3 cm radar.

4. Rain-clutter

Only on a few occasions rain-clutter was encountered. Generally it has been proved, as already known, that precipitation in the form of rain is better detected on 3 cm-radar than on 10 cm-radar. Again it appeared not possible to give an exact ratio figure.

An example is given in the figures 9-(10 cm) and 10-(3 cm). Two freighters of about 10.000 B.R.T. each having the same course and speed as own ship, are within detection range. Both vessels and own ship are in the very centre of a rainshower. In figure 9-(10 cm) no rain-echos are visible and both ships in bearing and distance of $225^0/4.6$ n.m. and $294^0/3.8$ n.m. are clearly distinguished. This in contrast with figure 10-(3 cm), on which both ships are fully lost in the rain-clutter (and sea-clutter as well).

Both photographs have been taken on the range scale of 8 n.m. without using anti-clutter-devices (no s.t.c. and no f.t.c.).

5. Snow and hail

Not encountered.

6. Picture-definition

From the characteristics of both equipments it will be expected that the picture-definition of the 3 cm-installation is better. More than words are able to describe, the photographs figure 11-(10 cm) and figure 12-(3 cm) are indicating such. Both photographs are showing the radar-picture of the Bay of Suez at the range scale of 8 n.m. with application of optimum s.t.c. and f.t.c.

7. Preliminary Conclusion

A positive opinion on a preference for 10 cm- or 3 cm radar cannot be reached at, from the observations made during this trip. This will be dependent on the sailing route and also be

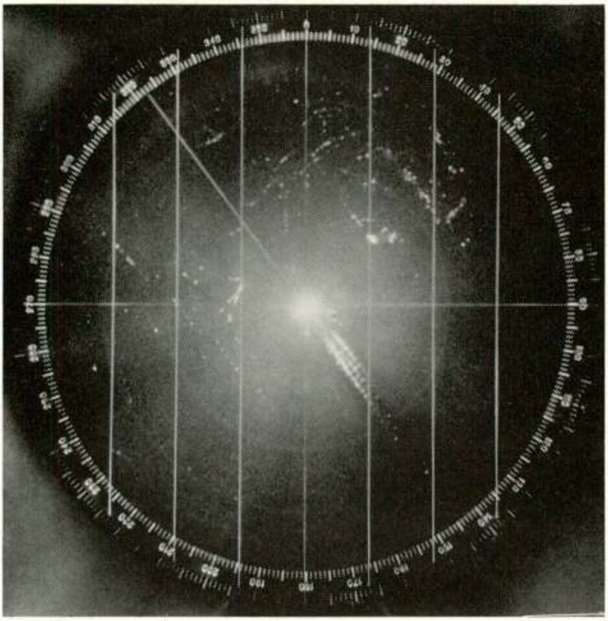


Fig. 13

,,Angels''. Range scale $^{1}/_{2}$ n.m.; $\lambda = 3$ cm; f.t.c. = 0 s.t.c. = 0.

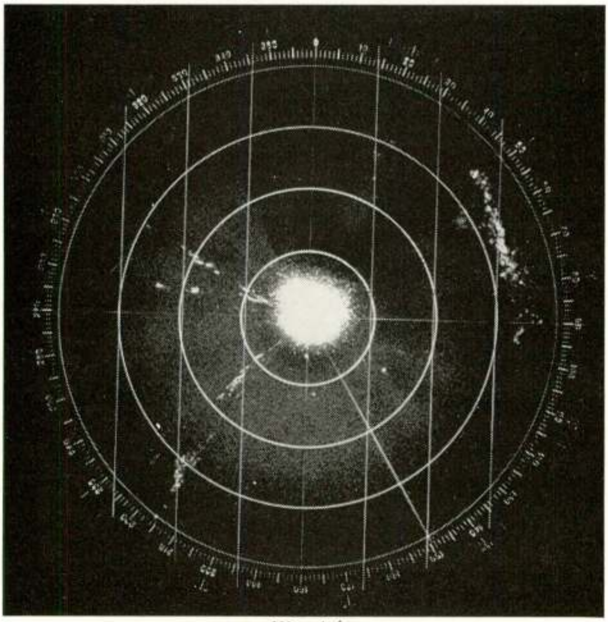


Fig. 14

,,Ghost echoes''. Range scale 20 n.m.; $\lambda = 3$ cm;
f.t.c. = 0 and s.t.c. = 0.
Wind: speed 5 knots, air temperature 26, 2° C.,
temperature seawater 24, 5° C., barometer 1024, 0 mb;
rel. humidity 57, 6%.

influenced by the fact whether the vessel will be sailing regularly in areas where showers or tropical rainstorms are occurring frequently. In the latter case it can be said that 10 cm radar is to be preferred. For coastal navigation, where bearing and distance of landmarks have to be obtained by radar, 3 cm-equipment is to be preferred.

8. Peculiar phenomena

a. *Angels*

Echoes known as "angels" have been observed during the trip when sailing through the Gulf of Oman (entrance to the Persian Gulf), shortly after sunset on the 3 cm radar *only*. The echoes appeared as isolated signals on the radarscreen. At times the echoes would almost completely cover the PPI in an irregular pattern of dots out to a distance of about 8 n.m.

A radar plot of such signals have shown that they are moving irregularly with speeds between 20 and 40 knots with sudden changes of their courses. The nature of these echoes is not quite clear.

Figure 13 shows a radarpicture at a range scale of $\frac{1}{2}$ n.m. on the 3 cm-radar, where those „angels" are visible.

It should be mentioned that although this phenomenon happened shortly after sunset, there was still sufficient daylight for observing visually that no object nor a living soul was in the ship's surroundings. This observation was made in clear weather.

b. *Ghost echoes*

Strong "bands" or "strings" of echoes, known as "ghost echoes", have been observed in the Read Sea on the parallel of Jidda about 45 n.m. out off the Arabian Coast. These echoes have been detected on the 3 cm-radar and not on the 10 cm-radar. A plot on the reflection-plotter has shown that the different parts of the above mentioned "ghost echoes" are moving irregularly with speeds between 30 and 45 knots in different directions. The latter proves that it is not a case of second-trace echoes. We can also exclude precipitation, as the observation has been made in clear weather.

Figure 14 shows a radar picture at a range scale of 20 n.m. on the 3 cm-radar, on which those "ghost-echoes" are visible on port- and starboard-side.

9. Conclusion

The Working Group points out that this report is based on observations taken during one six-weeks' round-voyage only from U.K. to the Persian Gulf v.v. The weather conditions during this trip were favourable without exception.

No severe rainstorms, no substantial precipitation, no heavy weather was ecountered. It is the opinion of the Working Group that similar tests should be continued so that observations under adverse weather conditions could complete the report and give occasion to a more precise judgement.

NIEUWE SERVICE VOOR LUCHTVAART-ELEKTRONICA

Beantwoordende aan een steeds toenemende behoefte is door Nederlandsche Standard Electric Mij. N.V., Den Haag en Ships Radio Service N.V., Schiedam, opgericht:

INTERNATIONAL AVIONICS SERVICE
(Internationale Luchtvaart Radio Service N.V.)

Het doel van deze nieuwe onderneming is het verlenen van diensten aan de luchtvaart in de vorm van installatie, controle, onderhoud en reparatie van vliegtuigradio-apparatuur. Eveneens kan de levering van nieuwe apparatuur worden verzorgd, waarbij deze onderneming installatie en onderhoud op zich kan nemen.

Op de Luchthaven Rotterdam (Zestienhoven) zal op korte termijn een werkplaats worden opgericht, die in de komende maanden zal worden uitgerust. Bovendien zal hier geleidelijk een voorraad reservedelen voor de meest voorkomende typen vliegtuiginstallaties worden opgebouwd.

De activiteiten van de nieuwe onderneming zijn voorbereid en zullen worden aangevangen en voortgezet onder toezicht van de Dienst Luchtvaartinspectie van de Rijksluchtvaartdienst. Deze dienst is zoals bekend verantwoordelijk voor de luchtwaardigheid van de Nederlandse vliegtuigen en voor de naleving van de internationaal daarvoor vastgestelde eisen.

De nieuwe onderneming is in onderhandeling met een aantal fabrikanten van vliegtuigradio-apparatuur, teneinde in de toekomst service te kunnen verlenen aan zoveel mogelijk verschillende fabrikaten van vliegtuigradio-apparatuur.

Een eerste regeling van deze aard is reeds getroffen met Standard Telephones & Cables Ltd. in Engeland, daar vele Engelse luchtvaartmaatschappijen gebruik maken van vliegtuigradio-apparatuur van dit fabrikaat.

PROEVEN VAN P.T.T. IN VERBAND MET GECOMBINEERDE DOORGIFTE VAN TELEVISIE- EN RADIOPROGRAMMA'S

Ongeveer twee jaar geleden is van de zijde van de directie van de Wieringermeer, die o.m. ook de verantwoordelijkheid draagt voor de bebouwing in de nieuwe IJsselmeerpolders, aan P.T.T. verzocht ervoor te willen zorgen, dat de polder Oostelijk Flevoland en met name het nieuw te bouwen Dronten zou worden gevrijwaard voor een woud van televisie-antennes.

Op grond van de op dat tijdstip beschikbare technische mogelijkheden is P.T.T. overgegaan tot de aanleg van een proefnet, waarover voorshands één televisieprogramma en de vier draadomroepprogramma's zullen worden doorgegeven.

De draadomroepprogramma's worden via de kabel van Kampen naar Dronten overgebracht. Het Nederlandse televisieprogramma wordt ontvangen met een collectieve antenne, die is opgesteld in de onmiddellijke omgeving van Dronten.

De bewoners van Dronten vinden in iedere woning een aansluiting op bovenbedoeld net en zullen, indien zij in het bezit zijn van een gewoon televisietoestel, het Nederlandse televisieprogramma storingvrij en zonder dat hiervoor een eigen antenne nodig is, kunnen ontvangen.

De draadomroepprogramma's kunnen worden beluisterd met een luidspreker, dan wel met behulp van een gewoon radiotoestel of via de luidspreker van het televisietoestel.

Inmiddels is ook begonnen met de constructie van het tweede proefnet, dat in bestaande bebouwing in Den Haag wordt aangelegd.

Zoals bekend zal in een deel van het Bezuidenhoutkwartier en in een gedeelte van de wijk Mariahoeve in Den Haag een proef worden genomen, die is gebaseerd op meer recente technische ontwikkelingen.

Dit najaar hoopt P.T.T. het proefnet in bedrijf te kunnen stellen en vanaf dat moment zullen de aangeslotenen het Nederlandse televisieprogramma en een aantal f.m. programma's storingvrij en zonder eigen antenne kunnen ontvangen.

De proef in Den Haag zal voor wat de televisie betreft meer moeten omvatten dan alleen het Nederlandse programma, wil men zich op grond van de resultaten van deze proef een gedegen oordeel kunnen vormen over de merites

van dit systeem ten einde een verantwoorde conclusie en beslissing mogelijk te maken.

De aandacht wordt erop gevestigd dat de proef in Den Haag op een andere technische leest zal zijn geschoeid dan die in Dronten, aangezien het thans mogelijk is gebruik te maken van een veel breder frequentieband, die meer kanalen voor doorgifte omvat. Voor de ontvangst van het televisiesignaal zal een collectieve antenne worden opgesteld op een terrein van de gemeente in het Bezuidenhout. Voor de f.m. programma's zal worden gebruik gemaakt van de ontvangposten, die P.T.T. al geruime tijd ter beschikking heeft aan de grenzen van ons land voor de ontvangst van radioprogramma's voor de draadomroep.

De via deze ontvangposten ontvangen f.m. programma's zullen in het proefnet onverkort kunnen worden doorgegeven.

Voor het ontvangen van de televisieprogramma's is een normaal televisietoestel en voor de radioprogramma's een radiotoestel, geschikt voor f.m. ontvangst, nodig.

De voordelen van het collectief antennesysteem, dat in de proefnetten door P.T.T. wordt geïntroduceerd, zijn o.m.:

1. antennes worden overbodig en derhalve kunnen de antennewouden bij invoering van het systeem geleidelijk verdwijnen;
2. bij meer televisieprogramma's behoeven geen extra antennes voor ontvangst en geen converter (voorzetapparaat voor band IV en V) bij het toestel te worden aangeschaft;
3. het systeem, zoals dat in Den Haag zal worden toegepast, biedt de technische mogelijkheid circa 6 televisieprogramma's en ongeveer 10 f.m. programma's door te geven;
4. men zal zowel televisie- als radioprogramma's kunnen ontvangen, die met normale antennes niet of zelden te ontvangen zijn.
   Met name in de randstad Holland betekent dit een belangrijke verruiming van de mogelijkheden;
5. een storingvrije ontvangst van zowel de televisie- als de radio-programma's is in hoge mate verzekerd; ook wordt de vorming van z.g. dubbelbeelden door aanwezigheid van gashouders, torens en hoge gebouwen ontgaan.

P.T.T. heeft het tot zijn taak gerekend deze materie uitgebreid te onderzoeken, waarbij in het Dr. Neherlaboratorium belangrijk werk is verricht, hetwelk nog wordt voortgezet.

De proeven zijn voorbereid met instemming van de minister van Verkeer en Waterstaat. Zij houden een verdere verkenning onder bedrijfsomstandigheden in.

Over de nieuwe technische mogelijkheden en hiermede samenhangende vraagstukken is een rapport samengesteld, dat door de directeur-generaal van PTT aan de minister van Verkeer en Waterstaat is aangeboden.

In dit rapport worden behalve de technische kanten van het vraagstuk ook o.a. juridische en economische problemen belicht.

In hoeverre en op welke wijze de hiervoor genoemde technische mogelijkheden in de toekomst verwezenlijkt zullen worden, is in een zaak, waarover regering en Staten-Generaal zich nader zullen moeten uitspreken.

Indien tot toepassing zou worden besloten, zal het tempo van verwezenlijking afhangen van de beschikbare geldmiddelen en het arbeidspotentieel.

Boekaankondigingen

Bij Dover Publications, Inc. New York verschenen de volgende uitgaven in de bekende goedkope vorm:

„Applied Mathematics for Radio and Communications Engineers", door Carl E. Smith.

Voor het eerst uitgegeven in 1945 geeft dit boek de basiswiskunde tot en met differentiaal- en integraalrekening in een vorm, aangepast aan het toepassingsgebied. 100 bladzijden. Formules en tafels maken het tot een handig naslagwerk. (Prijs $ 1.75).

„Loudspeakers", door N. W. Mc. Lachlan.

Gecorrigeerde herdruk van een zeer grondige behandeling van de luidspreker uit 1934 (Prijs $ 2.25).

„A Survey of Physical theory", door Max. Planck.
Een herdruk van *„A Survey of Physics"* waarin in niet-technische bewoordingen de gedachten die ten grondslag liggen aan de hedendaagse natuurkunde worden weergegeven (Prijs $ 1.15).

„Magnetism and Very Low Temperatures", door H. B. G. Casimir.
De herdruk van een verhandeling gebaseerd op vier lezingen door Prof. Casimir in 1938 in Cambridge gehouden (Prijs $ 1.25).

Uit het Nederlands Radiogenootschap

PERSONALIA

Op 22 mei jl. overleed op 76-jarige leeftijd

G. EMMERIK

Gepensionneerd inspecteur van de hoofddirectie Telegrafie en Telefonie van PTT.

Speurwerkmedaille voor Prof. Ir. G. H. Bast.

De Speurwerkmedaille voor Elektrotechniek van het Koninklijk Instituut van Ingenieurs werd toegekend aan Prof. Bast voor zijn bijdragen op het gebied van de telefoontransmissie.

P.T.T.-Penning voor Prof. Dr. Ir. W. Th. Bähler.

De zilveren legpenning van het Staatsbedrijf der PTT werd uitgereikt aan Prof. Bähler die sedert 1930 zo vele PTT- en andere telecommunicatie-ingenieurs heeft onderwezen in telefonie en telegrafie. De tekst op de penning aangebracht luidt dan ook: „Aan Prof. Dr. Ir. W. Th. Bähler, die van 1930-1962 zaaide, van het bedrijf dat dankbaar oogstte".

NIEUWE LEDEN

Ir. J. C. A. van Gessel, Morsweg 6A, Leiden.
A. Koppenaal, Oosteinde 35, Voorburg.
Ir. H. Mooijweer, Groesstraat 10, Geldrop.
Ir. J. J. Verhoeven, Hogeweg 12, Wassenaar.
Ir. R. Viddeleer, Boele van Hensbroekstraat 44, Den Haag.

VOORGESTELDE LEDEN

Ir. H. C. Aalbers, Wesselmanlaan 26 D5 Helmond (N.V. P. F. van Vlissingen en Co's, Katoenfabrieken).
A. J. Berkhout, Veenendaalkade 364, Den Haag (junior-lid).
A. Blankvoort, Pr. Mariannelaan 310, Voorburg Z.H. (junior-lid).
H. W. Elsborg, Klimopstraat 99, Den Haag (junior-lid).

NIEUWE ADRESSEN VAN LEDEN

Dr. B. B. Barrow, Sylvania Applied Research Lab. 40 Sylvan Road, Waltham 54, Mass. U.S.A.
Ir. M. L. Bazen, p/a I.B.M. Postbus 9999, Amsterdam.
Ir. Y. B. F. J. Groeneveld, Hoofdstraat 53, Hoogeloon (N.Br.).
R. F. Kielstra, Hoflaan 1, Hilversum.
Ir. L. L. Kossakowski, Knegsel C 51 B, Gem. Vessem.
Ir. J. L. Leistra, Lasondersingel 143, Enschede.
Ir. F. Möhring, Cremerstraat 43, Voorburg, (Z.H.).
Ir. D. C. Schering, Pieter Calandlaan 32 huis, Amsterdam (Slotervaart).
Ir. J. Schuytemaker, Zwaluwlaan 63, Bussum.
Ir. M. Steffelaar, Rodenbachlaan 28, Eindhoven.

Dit nummer werd gedrukt 24 augustus 1962.